

GUIA PARA TRATAMENTOS TÉRMICOS – PARTE II – AÇOS

Metalurgista Industrial

abril 2021

www.metalurgistaindustrial.com.br

Uma das vantagens dos aços comparativamente às demais ligas metálicas é a capacidade destes de atingir elevados patamares de resistência por meio de Tratamento Térmico enquanto ainda retêm alguma ductilidade. Essa capacidade de os aços terem sua resistência aumentada é uma consequência direta do teor de carbono presente. À medida que o teor de carbono é aumentado são obtidos maiores níveis de resistência. Embora a ductilidade decresça com a elevação da resistência, esta ainda é suficiente alta para satisfazer a maioria das aplicações de engenharia. Os Tratamentos Térmicos são utilizados não somente para aumentar a dureza dos aços, mas também para prover outras combinações úteis de propriedades tais como ductilidade, conformabilidade e usinabilidade.

Os processos mais relevantes de Tratamentos Térmicos aplicados às ligas ferrosas abrangem recozimento (*annealing*), alívio de tensões (*stress relieving*), normalização (*normalizing*), esferoidização (*spheroidizing*), endurecimento por têmpera (*quenching*), revenimento (*tempering*) e endurecimento externo (*case hardening*), este já antes citado na Parte I desta Resenha Técnica. Em todos esses processos os aços são aquecidos vagorosamente a uma temperatura pré-determinada e então resfriados. São a temperatura e a taxa de resfriamento que determinam a estrutura resultante dos aços. A estrutura final não depende da taxa de aquecimento desde que esta seja vagarosa o suficiente para os aços alcançarem equilíbrio estrutural à temperatura máxima. Entretanto, a taxa subsequente resfriamento, que determina a natureza da estrutura final, é crítica e pode variar entre um resfriamento lento no forno ou resfriamento brusco por têmpera em água.

Recozimento

Nos aços, recozimento usualmente significa um Tratamento Térmico seguido de resfriamento no forno a partir da temperatura de austenitização. O recozimento é empregado para reduzir a dureza, obter uma microestrutura próxima da condição estável, promover refino do tamanho de grão, melhorar a usinabilidade e facilitar o trabalho a frio. Para os aços hipoeutetóides (com teores de carbono abaixo de 0,80% em peso), o recozimento pleno (*full annealing*) consiste em aquecimento a 90 a 180°C acima da temperatura A_3 e no caso dos aços hipereutetóides (com teores de carbono acima de 0,80% em peso) aquecimento acima da temperatura A_1 seguido de resfriamento muito lento. Os fenômenos associados, no que se refere ao comportamento das microestruturas resultantes, são abordados na Resenha Técnica Recuperação, Recristalização e Crescimento de Grãos.

O recozimento subcrítico (*process annealing*) consiste no aquecimento dos aços a uma temperatura logo abaixo da eutetóide A_1 por um curto período de tempo. Esse tratamento confere alívio de tensões, torna os aços mais facilmente conformáveis e é aplicado a aços baixo carbono laminados a frio e produtos trefilados com o objetivo de restaurar a condição inicial de ductilidade. As temperaturas utilizadas situam-se de 550 a 650°C. Um resfriamento lento não é essencial para o recozimento subcrítico porque qualquer taxa de resfriamento a partir de temperaturas abaixo de A_1 não afetará a microestrutura ou a dureza. O diagrama de equilíbrio das ligas Fe-C é abordado em uma Resenha Técnica específica a esse respeito.

Normalização

Os aços sofrem normalização por aquecimento a 160 a 200° dentro do campo da fase austenita a temperaturas algo mais elevadas das utilizadas no recozimento, seguido de resfriamento a uma taxa média. Para aços-carbono e de baixa liga, a normalização significa resfriamento ao ar. Muitos aços são normalizados para a obtenção de uma microestrutura uniforme e tamanho de grão. Uma taxa de resfriamento mais rápida durante a normalização resulta em uma microestrutura mais fina que é mais dura e mais resistente do que aquela produzida pelo recozimento pleno. Os aços são normalizados com os propósitos de promover refino do tamanho de grão, tornar a estrutura mais uniforme, torná-los mais suscetíveis ao endurecimento e aprimorar a usinabilidade. Quando um aço é aquecido a alta temperatura o carbono pode se difundir prontamente resultando em uma composição razoavelmente uniforme de uma área para a próxima. O aço então se torna mais homogêneo e responderá mais uniformemente a Tratamento Térmico. As propriedades dos aços normalizados dependem da composição química e taxa de resfriamento, sendo esta função do tamanho do componente em pauta.

Esferiodização

O tratamento de esferiodização confere a um aço uma condição de dureza mínima e ductilidade máxima. Os aços podem ser esferiodizados pelo aquecimento logo acima ou abaixo da temperatura eutetóide A_1 e mantidos a esta temperatura por um período estendido de tempo. A esferiodização também pode ser conduzida por um processo cíclico em que a temperatura do aço é alternada entre acima e abaixo da linha A_1 . Esse processo promove a quebra da estrutura lamelar em pequenas partes que formam pequenos esferoides por difusão na matriz contínua. As tensões superficiais desenvolvidas provocam as partículas de carbeto tomarem o formato esférico. Como um fino tamanho de carbeto acelera a esferiodização, os aços são frequentemente normalizados antes de submetidos a esse tratamento.

Endurecimento por têmpera

Para promover o aumento da resistência dos aços por têmpera é necessário que estes sejam aquecidos a uma temperatura suficientemente elevada para a produção de uma fase cristalina austenítica e então resfriados rapidamente. Na têmpera, a fase austenita transforma-se em martensita, que é uma fase dura e resistente de reduzida ductilidade. A dureza obtida sob têmpera depende da composição química e da taxa de resfriamento.

Aços com teores mais elevados de carbono resultam em maiores durezas e a adição de elementos de liga permite o desenvolvimento de estruturas martensíticas ao longo de maiores seções. O teor em carbono é crítico para a capacidade de endurecimento dos aços. À medida que a ductilidade se reduz com o aumento do teor de carbono, este é mantido em 0,45% em peso em vários aços voltados a aplicações em engenharia (*engineering steels*). Entretanto, quando é requerida a resistência à abrasão, como, por exemplo, em aços ferramenta e aços para matrizes, esse teor pode ser aumentado para acima de 1% em peso. Alguns aços mais altamente ligados sofrem têmpera tão profunda que formarão estruturas completamente martensíticas em seções bastante espessas por resfriamento a ar até a temperatura ambiente. As taxas de resfriamento são controladas pelo meio utilizado, como a salmoura, água, óleo e ar forçado produzindo progressivamente mais reduzidas velocidades de têmpera. Aços-carbono como o 1040 devem ser temperados em salmoura ou água para adquirirem 100% de martensita, enquanto que aços-liga como o 4140 podem ser temperados a óleo para alcançarem estruturas completamente martensíticas em seções mais espessas.

Quando um aço é temperado à temperatura ambiente, a parte externa resfria muito mais rapidamente do que seu interior, propiciando o surgimento de tensões de contração. Adicionalmente, a transformação da austenita em martensita induz uma expansão volumétrica que também provoca elevadas tensões internas no material. O efeito combinado dessas tensões de contração e expansão podem causar distorção e até trincamento. O resfriamento intermediário a óleo minimiza tensões de têmpera que causam essas distorções e problemas correlatos de trincamento.

Martêmpera (ou têmpera interrompida)

Esse processo, indicado para aços de alta liga, é uma estratégia para a promoção da redução das tensões de têmpera, promove o resfriamento em duas etapas. Inicialmente é promovido um resfriamento rápido em salmoura até uma temperatura ligeiramente acima da de formação da martensita até o atingimento do equilíbrio térmico, seguido de resfriamento ao ar e formação de martensita.

Austêmpera

A austêmpera é outro processo de têmpera interrompida com o propósito de obtenção de uma microestrutura bainítica. A bainita, abordada em uma Resenha Técnica específica, pode ser considerada uma estrutura intermediária entre a ferrita e a martensita. Do mesmo modo que a martêmpera, o aço é resfriado em salmoura acima da temperatura de formação da martensita e deixado permanecer nesta temperatura até que a transformação em bainita se complete. A austêmpera oferece diversas vantagens potenciais como aumento de ductilidade, tenacidade e resistência a uma dada dureza. Um dos notórios atributos dos aços austemperados é a elevada resistência ao impacto.

Revenimento

Como antes abordado, em decorrência do processo de têmpera são provocadas tensões internas excessivas e comprometimento da ductilidade e, conseqüentemente, da tenacidade dos aços, que impedem seu emprego na maioria das aplicações. Torna-se necessária, então, a realização de um tratamento térmico adicional, o revenimento, que altera a microestrutura e alivia as tensões decorrentes da têmpera. O revenimento consiste no aquecimento do aço a uma temperatura intermediária, cuja seleção dependa da aplicação. Por exemplo, uma temperatura de revenimento de 150°C proverá alguma tenacidade com mínima perda em resistência, enquanto que uma temperatura de revenimento mais elevada, como a de 700°C, produzirá uma bem maior ductilidade e tenacidade, mas com significativa perda em resistência.

Endurecimento Externo

Há algumas aplicações que demandam uma superfície de elevada dureza e resistente à abrasão e um núcleo interior tenaz e resistente a choques, tais como eixos de comando, engrenagens e barras. Enquanto que um aço com 0,1% de carbono em peso possuirá um núcleo tenaz, sua dureza superficial será baixa após endurecimento. Por outro lado, um aço alto carbono com 0,8% em peso deste elemento terá uma alta dureza superficial após endurecimento, mas o núcleo não será suficientemente tenaz e resistente a choques. São disponíveis duas maneiras de superar essa contingência. Uma é o emprego de um aço médio carbono e apenas endurecer a superfície por meio de tratamento de endurecimento por chama ou indução. A outra abordagem é a de difusão de carbono ou nitrogênio nas camadas superficiais de um aço baixo carbono em processos como cementação, nitretação, cianetação, carbonitretação e nitrocarburação ferrítica. Quando um aço carburado é termicamente tratado, as camadas superficiais de alto teor de carbono atingiram uma dureza mais elevada do que o núcleo de baixo carbono.