

Temperabilidade

Definição

A temperabilidade é habitualmente definida como sendo a capacidade de um aço para formar martensite na têmpera. É neste contexto que a temperabilidade é normalmente entendida no estudo de aços-ferramenta. Existem no entanto autores que alargam o conceito de temperabilidade à capacidade de **endurecer** um aço através de um arrefecimento partindo do domínio austenítico; neste caso as micro-estruturas finais visadas tanto podem ser a bainite como até mesmo a perlite fina.

Métodos de quantificação

Um dos procedimentos mais antigos e rudimentares para se determinar a temperabilidade consiste na análise das superfícies de fractura de provetes cilíndricos entalhados; a diferença entre a superfície de fractura da região central não temperada (mais macia e, por isso, com fractura dúctil) e a região periférica temperada (mais dura e, por isso, com fractura frágil) é regra geral facilmente perceptível, mesmo a olho nu. Daqui se pode inferir uma informação aproximada sobre a profundidade de têmpera. O mesmo tipo de informação pode ser obtido de forma muito mais precisa efectuando cortes transversais dos provetes cilíndricos e contrastando por ataque químico, normalmente com nital (solução de ácido nítrico em álcool etílico); neste caso haverá que tomar precauções muito especiais para que a operação de corte não conduza (por aquecimento) a alterações estruturais que falseariam a análise posterior.

Curvas em "U"

Outro dos processos empregues para determinar a temperabilidade baseia-se na medição da dureza ao longo de duas (ou mais diagonais) da secção recta de provetes cilíndricos de diferentes diâmetros temperados em diferentes condições. Os perfis de dureza obtidos têm normalmente a forma de "U" e permitem caracterizar a temperabilidade de um aço: quanto tanto mais elevadas são as durezas obtidas e mais "achatados" são os perfis de dureza (maior penetração de têmpera) tanto mais temperável será o aço.

O traçado destas curvas em "U" está na base de uma tentativa de quantificação do parâmetro temperabilidade por Grossman. Numa primeira abordagem explorou a noção de "profundidade de têmpera", evidenciada pela diferenciação entre o aspecto da periferia mais endurecida e a região central (da secção recta de provetes cilíndricos temperados). Sucede no entanto que se se pretendesse usar a profundidade de têmpera como parâmetro quantificador da temperabilidade teria que se impor uma geometria única para poder tornar comparáveis os diferentes ensaios com diferentes aços; ora, a adopção de um diâmetro muito reduzido traria problemas de representatividade para os aços de alta temperabilidade (que endureceriam de modo muito semelhante em toda a secção recta, tornando difícil a distinção entre eles); por outro lado, um diâmetro suficientemente grande para eliminar este problema com os aços de alta temperabilidade faria surgir problemas com aços de baixa temperabilidade que apresentariam uma penetração de têmpera quase nula e igualmente dificilmente diferenciável. A nitidez com que se distingue a profundidade até onde se estende o efeito de endurecimento por têmpera tem a ver com o facto de ser muito reduzida a extensão da região dentro da qual a quantidade de martensite desce abruptamente abaixo dos 50%. Se para um dado aço temperarmos provetes cilíndricos de diferentes diâmetros num mesmo meio de arrefecimento, deverá ser possível encontrar um **diâmetro crítico** tal que na região central do provete correspondente haja 50% de martensite; uma maneira possível de determinar este parâmetro consiste em representar a dureza do centro dos provetes em função do seu diâmetro; o ponto de inflexão desta curva corresponderá ao diâmetro crítico do aço em questão, para o meio de arrefecimento utilizado nessa série de diâmetros.

Método de Grossman-Asimov

A temperabilidade de um aço não pode ser analisada sem ter em conta a severidade do meio de arrefecimento usado: variando a severidade do meio de têmpera, varia também o diâmetro crítico para um mesmo aço. Para introduzir este parâmetro, Asimov recorreu a uma nova quantidade: D_u / D , a fracção não endurecida relativamente ao diâmetro total, em que D_u é o diâmetro da região central não endurecida ("unhardened") e D é o diâmetro total do provete. A representação gráfica desta quantidade em função do diâmetro total para uma série de provetes (de diferentes diâmetros) de um mesmo aço, arrefecidos num mesmo meio de têmpera, dá uma curva representativa simultaneamente da temperabilidade do aço em questão e da drasticidade do meio de arrefecimento utilizado. A partir de considerações de natureza teórica Asimov construiu um ábaco de curvas-padrão deste tipo num referencial D_u / D versus D ou $H.D$, em que H é a chamada severidade do meio de têmpera; este parâmetro é quantificado tomando como referência a severidade de têmpera da água sem agitação à temperatura ambiente ($H = 1$). A utilização destes gráficos permite obter resposta para uma grande diversidade de problemas:

- conhecendo vários valores de D_u / D em função de D é possível determinar a severidade do meio de têmpera utilizado; para uma definição o mais correcta possível da curva correspondente não deverão utilizar-se somente dois pares de valores mas sim preferencialmente pelo menos seis;

- conhecendo vários valores de D_u / D e a severidade do meio de têmpera é possível determinar o diâmetro crítico do aço para o meio de têmpera em questão;

- conhecendo a severidade do meio de têmpera e o diâmetro crítico do aço para esse meio, é possível prever a profundidade de penetração de têmpera para qualquer diâmetro do mesmo aço arrefecido nesse mesmo meio.

Pelo que acaba de ser exposto resulta claro que o diâmetro crítico depende não só da temperabilidade do aço, mas também da severidade do meio de têmpera; por isso, os diâmetros críticos só permitem aferir a temperabilidade de diferentes aços quando referidos a um mesmo meio de têmpera. Em vez de procurar normalizar as condições em que cada uma das têmperas deverão decorrer, procurou-se definir um meio de têmpera *ideal*: o meio de arrefecimento tal que ao mergulhar nele a peça a temperatura da superfície desta atinge instantaneamente a temperatura do meio de arrefecimento. Embora este meio *ideal* não seja atingível na prática, consegue-se uma boa aproximação a esta condição ao recorrer a uma salmoura fortemente agitada. O diâmetro crítico obtido para este meio *ideal* é o maior diâmetro crítico obtível para uma dada temperabilidade, proporcionando assim uma boa base de comparação entre diferentes temperabilidades. Este "diâmetro crítico ideal" é um verdadeiro parâmetro aferidor da temperabilidade do aço. Assimov construiu ábacos que permitem calcular o diâmetro crítico ideal conhecendo o diâmetro crítico para uma dada severidade (conhecida). A utilização destes ábacos em paralelo com os já anteriormente referidos D_u / D versus D ou H.D permite alargar a capacidade de previsão da penetração de têmpera a uma nova classe de situações: conhecendo D_u / D para um dado meio de têmpera (de severidade conhecida) é possível calcular a penetração de têmpera (do mesmo aço) para um outro meio de têmpera (de severidade conhecida).

Um grupo de ábacos análogos aos da geometria cilíndrica foi também construído para tratar o caso das placas.

Ensaio de Jominy

Um ensaio frequentemente usado para caracterizar a temperabilidade é o de Jominy. Neste ensaio um provete cilíndrico de 25 mm de diâmetro e 10 cm de altura, após austenitização à temperatura recomendada para o aço a ensaiar, é arrefecido fazendo incidir na sua face inferior um jacto de água que deverá sair através de um tubo de 10 mm de diâmetro, estando a pressão da água regulada de tal modo que a altura livre do jacto de água seja de 65 mm. Uma vez completamente arrefecido até à temperatura ambiente é maquinada uma pista ao longo de uma geratriz do provete cilíndrico de modo a remover a camada superficial alterada durante o aquecimento e manutenção à temperatura de austenitização. São então efectuadas medições de dureza sobre esta pista e traçado o gráfico representativo da variação da dureza com a distância à extremidade arrefecida pelo jacto de água. As curvas assim obtidas têm um andamento que se traduz por um nível elevado de dureza na vizinhança da face inferior arrefecida pelo jacto de água, baixando gradualmente a dureza à medida que aumenta a distância a esta face; a partir de uma certa distância o valor da dureza tende a estabilizar. Quanto mais temperável for o aço tanto mais atenuada é a queda de dureza na vizinhança da face arrefecida. O ensaio de Jominy apresenta como principal desvantagem o facto de não ser aplicável a aços de muito reduzida temperabilidade (curvas de Jominy com uma queda muito rápida da dureza), nem a aços de muito alta temperabilidade (curvas de Jominy com muito reduzida variação de dureza ao longo da geratriz).

A grande vantagem deste ensaio reside na simplicidade da sua execução aliada à possibilidade de com um só ensaio se caracterizar a resposta de um aço a uma gama muito extensa de velocidades de arrefecimento. Além disso, o ensaio de Jominy permite obter uma reprodutibilidade de resultados muito boa, mesmo para variações significativas das condições da sua execução. Na realidade, um estudo efectuado por J. Birtalan *et al.* sobre a reprodutibilidade deste ensaio conduziu às seguintes conclusões:

- a temperatura da água de arrefecimento foi variada entre 10 °C e 50 °C sem que se registasse uma diferença apreciável (flutuação de ± 1 ponto na escala de dureza Rockwell C, comparativamente com a dureza obtida para a água a 25 °C);

- não foi detectada nenhuma variação nos resultados ao fazer variar a pressão da água de modo a que a altura do jacto livre atingisse um valor compreendido entre 25 mm e 125 mm (valor estipulado pela norma do ensaio: 65 mm);

- o tempo que se leva a transferir o provete do forno para o suporte onde decorre o arrefecimento afecta a temperatura do material no momento em que se inicia o arrefecimento e, por conseguinte, a sua posterior transformação; os resultados obtidos mostraram uma boa reprodutibilidade para tempos de transferência que podem ir até 7 segundos (uma conveniente disposição do equipamento permite a um operador experimentado efectuar a transferência em 3 segundos ou menos).

Diagramas TTT

A análise mais exacta da temperabilidade é a que se baseia nos diagramas TTT, quer de transformação isotérmica (TI), quer de arrefecimento contínuo (TAC). Estes últimos, em particular poderão permitir a previsão da evolução estrutural desde que se conheçam as leis de arrefecimento das regiões da peça que estamos interessados em analisar. Um parâmetro que é habitualmente extraído da leitura dos diagramas TTT-TAC é a chamada velocidade crítica: velocidade mínima de arrefecimento necessária para garantir a transformação em martensite, sem que a austenite se decomponha nos seus produtos de transformação de mais alta temperatura (perlite ou bainite).

Ao fazer uma leitura destes diagramas haverá no entanto que tomar em consideração o facto de cada um deles representar a evolução estrutural de um aço para as condições específicas de austenitização e para a família de leis de arrefecimento com base nas quais foi traçado o referido diagrama.