

Introdução

As tensões são formadas durante o tratamento térmico e proveniente da conjugação das variações volumétricas presentes, gradientes térmicos e transformações de fase. Para efeito didático e melhor compreensão do modo como surgem as tensões durante o tratamento térmico dos aços, recomenda-se antes abordar o caso do resfriamento sem transformação de fase para, em seguida, analisar a influência das transformações na geração de tensões.

1- Resfriamento sem transformação de fase

O resfriamento rápido origina uma diferença de temperaturas entre o centro e a superfície de uma peça. Em função disso, um “estado de tensões” acomodado se formará dentro do material devido ao surgimento de um gradiente térmico e um gradiente de volumes específicos. A representação esquemática, abaixo, Figura 1, mostra que o resfriamento da superfície de uma peça começa mais rapidamente que o centro, contraindo-se de forma mais drástica.

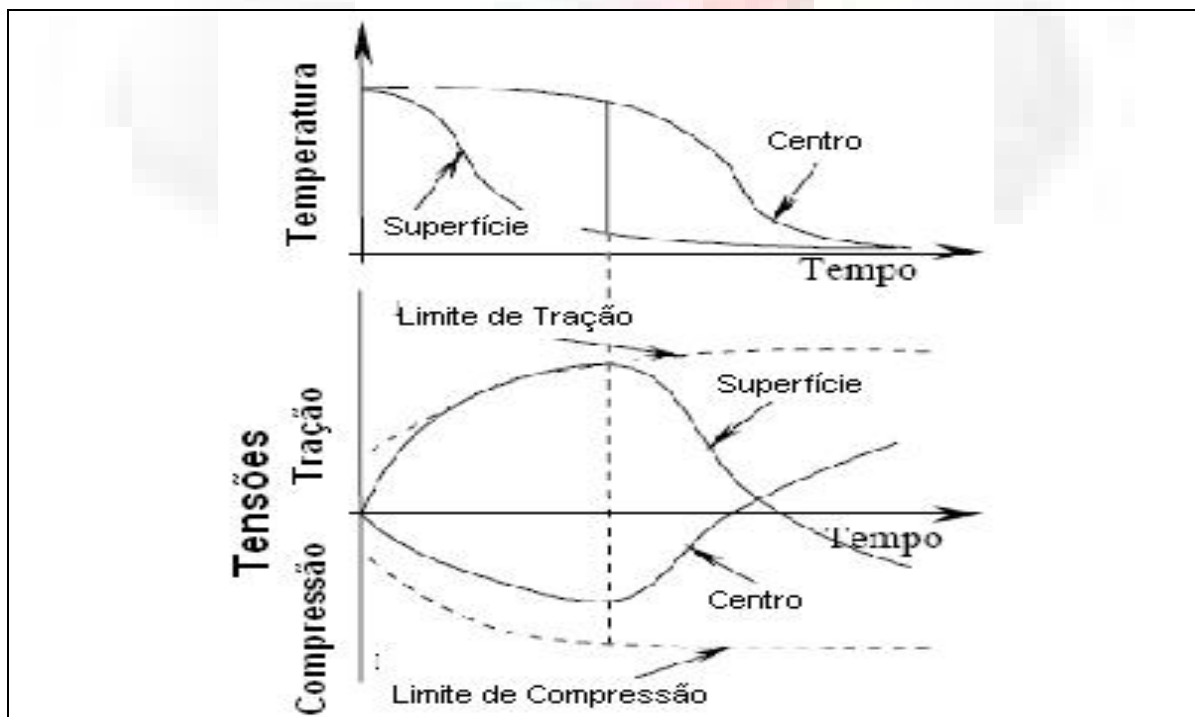


Figura 1 – Estado de tensões no resfriamento sem transformação de fases

O resultado do quadro tensões será uma superfície com tensões de tração e o centro com tensões de compressão. As tensões de superfície excedendo o limite elástico do material para a temperatura correspondente ocorrerá uma deformação plástica nesta e a deformação plástica conduzirá a uma relaxação das tensões (tração) da superfície. O nível das tensões (de tração à superfície e de compressão no centro) aumenta gradualmente até atingir o instante em que é máxima a diferença de temperaturas entre o centro e a superfície. No final do resfriamento subsiste um estado de tensões residuais de tração no centro e de compressão na superfície.

2- Resfriamento com transformação de fase

O resfriamento de um material com transformação de fase faz surgir, além das variações volumétricas de origem térmica, variações volumétricas resultantes das modificações estruturais. O estado de tensões final, nesse caso, será a somatória das tensões de origem térmica com as de origem estrutural.

A Figura 2 .mostra o caso em que a transformação da superfície ocorre antes de atingida a diferença máxima de temperaturas entre superfície e centro que faz surgir a inversão de sentido das tensões mais cedo do que ocorreria para um resfriamento equivalente num material sem transformações de fase. Entretanto, as tensões de tração no centro, ultrapassando o respectivo limite, induzem um alongamento plástico da região central, em seguida, a transformação martensítica do centro promove uma nova inversão do estado de tensões que resulta em tensões residuais finais de tração no centro e de compressão na superfície, situação ilustrada na Figura 2a..

A Figura 2b ilustra a situação em que a transformação de fase começa somente depois de ultrapassado o instante em que é máxima a diferença de temperaturas entre o centro e a superfície. Nesse caso, a variação volumétrica induzida pela transformação de fase à superfície contribui para intensificar as tensões de compressão da superfície de forma que o equilíbrio de focas seja mantido devendo, correspondentemente, surgir um aumento do nível de tensões de tração na região

central. Supõe-se, nesse caso, que não há deformação plástica associada à ocorrência da transformação de fase e, por isto, o estado de tensões que subsiste no final do resfriamento será de uma distribuição análoga ao caso em que o material não apresente transformação de fase durante o resfriamento.

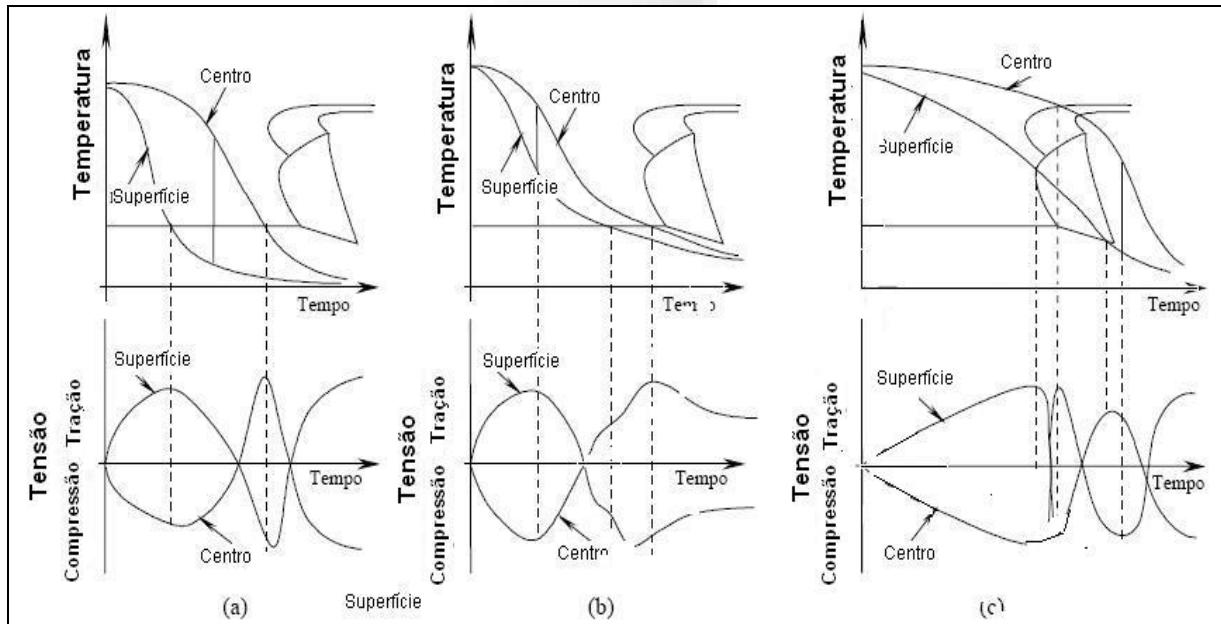


Figura 2 – Estado de tensões no resfriamento com transformação de fase

Finalmente, o esquema (c) representa esquematicamente o caso em que a transformação do centro começa mais tarde (do que a superfície), mas acaba mais cedo. Constata-se aqui três inversões do sentido das tensões que acaba por se obter uma distribuição do estado de tensões final que é do mesmo tipo do resfriamento sem transformações de fase. Esses três exemplos ilustram claramente a diversidade de formas que podem assumir as variações do estado de tensões com o tempo e as correspondentes deformações plásticas, consoante o tipo de resfriamento e os domínios de temperatura em que surgem as transformações de fase.

3- Variações dimensionais resultantes do tratamento térmico

3.1 – Têmpera

As variações dimensionais correspondentes às situações em que se possam considerar desprezíveis as tensões de transformação podem ser descritas por uma regra (Ameen). Segundo essa regra, as alterações de forma e dimensão para o caso de tensões de origem puramente térmica serão tais que o corpo tenderá a evoluir para a forma esférica. De um modo geral, pode dizer-se que tanto maiores serão as alterações dimensionais quando:

- Maior a temperatura de têmpera,
- Mais rápida a velocidade de resfriamento
- Menor a condutibilidade térmica do material,
- Maior o coeficiente de dilatação,
- Maiores dimensões da peça,

As variações dimensionais nos casos em que as tensões de transformação são importantes têm que ser analisadas com base na importância relativa das deformações plásticas induzidas pelas tensões de:

- Transformação; e/ou
- Origem puramente térmica.

Essa análise pode ser feita comparando, para um mesmo tipo de resfriamento de uma peça com uma dada geometria e aços com diferentes temperabilidades. Para um aço de menor temperabilidade, ao aumentar a temperatura de austenitização aumenta normalmente a profundidade de têmpera e o teor de austenita residual; estes efeitos devem-se ao aumento do teor em Carbono dissolvido na austenita. A variação volumétrica associada à transformação da austenita em martensita é substancialmente mais importante do que a da transformação da austenita nos seus produtos de decomposição de mais altas temperaturas; assim, num aço de menor temperabilidade, a maior quantidade de martensita formada, quando se aumenta a temperatura de austenitização, pode compensar largamente o menor volume

específico da austenita residual trazendo como resultado global para a peça uma dilatação volumétrica. Em contrapartida, se o aço for altamente temperável (de tal modo que tempere em toda a secção reta das geometrias em análise), o aumento da temperatura de austenitização traz como consequência uma menor expansão volumétrica da peça; Esse fato deve-se a que nesse caso a única consequência do aumento da temperatura de austenitização é um aumento da quantidade de austenita residual (de menor volume específico que a martensita).

As alterações dimensionais provocadas pelas deformações plásticas resultantes de tensões térmicas e de transformação ultrapassam o limite de tensão podem ser compreendidas com base na posição relativa dos domínios de transformação e das leis de resfriamento sobrepondo estas aos diagramas TRC (transformação em resfriamento contínuo). Este tipo de estudo é normalmente efetuado sobre a geometria cilíndrica. Assim, se a diferença máxima de temperaturas entre o centro e a superfície ocorrer antes de qualquer transformação da austenita ou só depois de toda a austenita se ter transformado, predomina o efeito das tensões de origem térmica sobre as tensões de transformação e o resultado final estará, neste caso, de acordo com a regra de Ameen. Se a diferença máxima de temperaturas entre o centro e a superfície ocorrer enquanto uma região do material começa a transformar-se podem constatar-se dois tipos de deformação para a geometria cilíndrica:

- Se a transformação da austenita começar no centro (que na fase inicial do resfriamento está em compressão) ocorrerá um reforço das tensões de compressão no centro e, correspondentemente, das de tração na superfície; ou seja, é reforçada a tendência para o estado de tensões próprio dos resfriamentos sem transformação estrutural (tensões de origem puramente térmica). Também nesse caso se deverá observar uma deformação global de acordo com a regra de Ameen (deformação do tipo "*barrilete*");
- Se a transformação se iniciar primeiro na superfície, a qual na fase inicial do resfriamento se encontra sob tração, registrar-se-a uma relaxação do estado

Tensões no Tratamento Térmico	 ISOFLAMA tratamento térmico
Informativo Técnico 07	Revisão 00 – 28/09/06 Pg 6/7

de tensões na superfície e, por conseguinte, também no centro. A geometria final será então do tipo "*bobina*", por oposição à de "*barrilete*" própria das alterações dimensionais de origem puramente térmica (regra de Ameen).

3.2 - Revenimento

As variações dimensionais de peças de aço revenidas após têmpera resultam de diferentes tipos de fenômenos. Acima dos 100°C normalmente o carbono dissolvido (sobresaturado na martensite) precipita na forma de carbonetos, sendo esta precipitação associada a uma diminuição de volume específico da martensita, trazendo como consequência uma contração do material. Acima dos 200°C a austenita residual que ocorre nos aços com teor em carbono superior a 0,5% temperados até à temperatura ambiente, transforma-se em ferrita e carbonetos; esta transformação, pelo contrário está associada a um aumento de volume específico, trazendo como consequência uma dilatação do material.

As alterações dimensionais trazidas pelo revenido podem assumir uma forma um pouco mais complexa se tiver em conta, para um mesmo revenido, diferentes condições de austenitização para a têmpera. Na realidade, quanto maior for a temperatura de austenitização, tanto maior será a percentagem de carbono dissolvido na austenita e, por conseguinte:

- Maior será a probabilidade de se encontrar austenita residual,
- Maior será o teor em carbono presente em sobressaturação na martensita.

Por isso, para aços de teor em carbono superior a 0,5%, maiores temperaturas de austenitização correspondem:

- Contrações mais importantes durante a 1ª fase do revenido como resultado de uma precipitação de carbonetos mais intensa e consequente diminuição do volume específico da martensite,

- Dilatações mais significativas na 2ª fase do revenido, em consequência da maior quantidade de austenita residual que nesta etapa se transforma nos seus produtos de decomposição, de maior volume específico.

Este tipo de análise deverá ainda ter em conta o fato de que se pode ter, para uma mesma temperatura de austenitização e diferentes velocidades de resfriamento:

- Diferentes graus de precipitação de carbonetos na austenita antes desta se transformar em martensita
- Quanto menor a velocidade de resfriamento, tanto maior a tendência para essa precipitação ocorrer. E dependendo do grau de precipitação pode-se obter diferentes sobresaturações de carbono na martensita, e vice-versa, condicionando o modo como as alterações dimensionais ocorrerão durante o revenido subsequente.

Poderão ainda apresentar efeitos mais complexos que se prendem com os diferentes modos de relaxação das tensões residuais por deformação plástica, em conformidade com a dependência dos limites de tensões relativamente à temperatura.

(*) Fonte: < <http://bf.no.sapo.pt/ttm/ttool3-1.pdf> >