

REVENIDO

Engenharia e Ciência dos Materiais I
Profa.Dra. Lauralice Canale

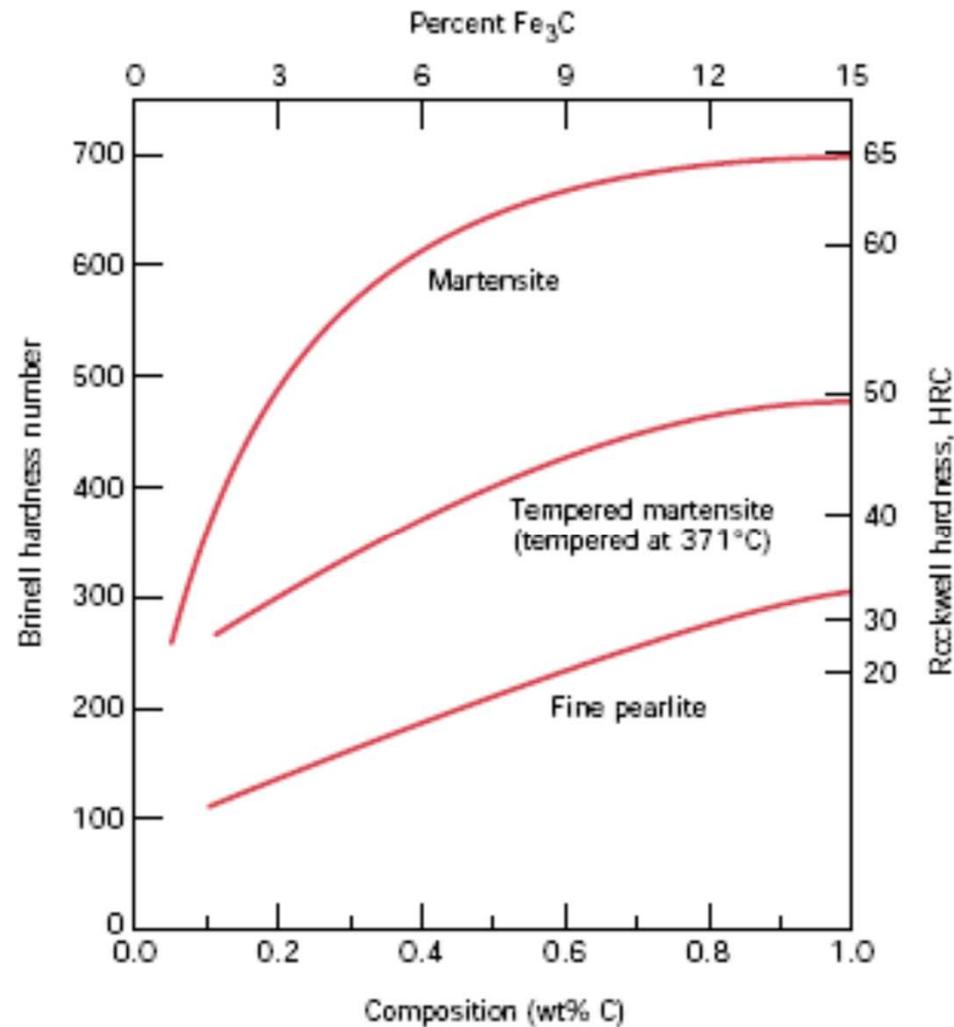


Revenido

- No estado temperado, a martensita, além de ser mais dura, é tão frágil que não pode ser utilizada para a maioria das aplicações
- As tensões internas que possam ter sido introduzidas durante a têmpera tem um efeito de enfraquecimento
- A ductilidade e a tenacidade podem ser aprimoradas e as tensões internas aliviadas através um tratamento de revenido

- 
- O revenido é conseguido através do aquecimento de um aço martensítico até uma temperatura abaixo do eutetóide durante um intervalo de tempo específico
 - A martensita TCC monofásica, que está supersaturada em carbono se transforma em martensita revenida, composta por ferrita e cementita
 - A microestrutura da martensita revenida consiste em partículas de cementita extremamente pequenas e uniformemente distribuídas

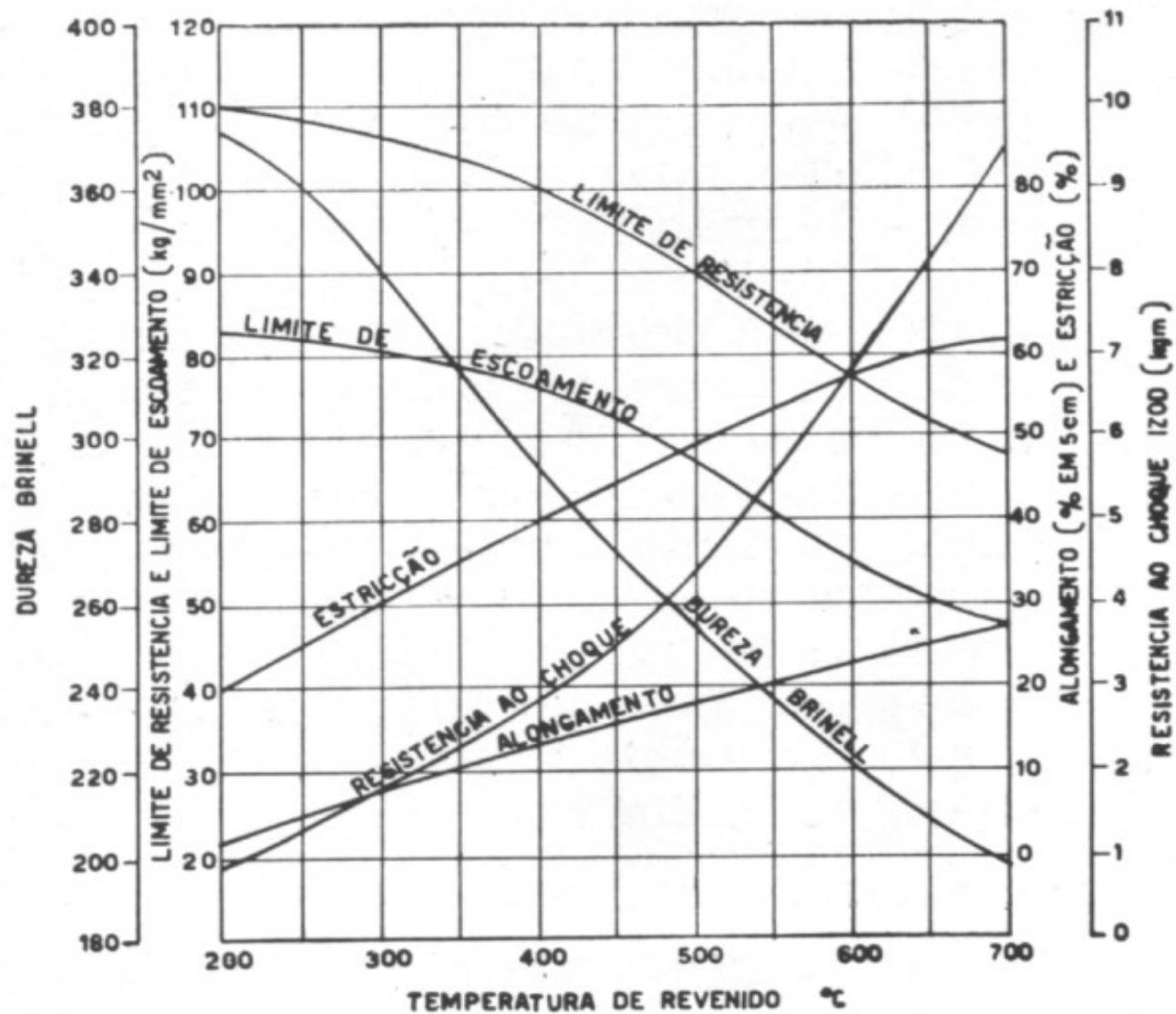
Propriedades Mecânicas





Propriedades Mecânicas

- As variações de propriedades mecânicas são dependentes do tempo e temperatura do revenido
- Como a difusão do carbono está ligada à formação de martensita revenida, o aumento de temperatura irá acelerar o processo de difusão, a taxa de crescimento das partículas de cementita e assim a taxa de amolecimento





Propriedades Mecânicas

- Com o aumento de tempo, a dureza diminui, o que corresponde ao crescimento e coalescência das partículas de cementita
- O coalescimento é idêntico ao tratamento de esferoidização, por isso em tratamentos à temperaturas que se aproximam do eutetóide e após várias horas a estrutura será composta por cementita globulizada



Etapas do Revenido

- Sendo a martensita uma estrutura metaestável, o aquecimento facilita a busca do equilíbrio
- A metaestabilidade da martensita é caracterizada pela permanência de átomos de carbono nos interstícios em que se encontravam a austenita
- Com o aquecimento fornece-se energia para a difusão e o carbono sai da supersaturação, precipitando-se como carbonetos
- As reações que ocorrem no revenido acontecem em seqüência a medida que se aumenta o tempo e/ou a temperatura do tratamento



Primeira etapa

- Temperaturas abaixo de 100/150°C até 200/250°C
- Também chamado de alívio de tensões, pois nenhuma mudança estrutural ocorre embora a tenacidade aumente
- Aços com teores menores que 0,25% de C – difusão do carbono na martensita, aglomerando-se nas discordâncias
- Aços com teores maiores que 0,25% de C – ocorre a precipitação de um carboneto metaestável, hexagonal compacto, o carboneto ϵ
- A precipitação de carbonetos provoca uma perda importante de C, que ao final dessa etapa perde parcialmente sua tetragonalidade e se transforma numa rede cúbica. Ainda permanece supersaturada em relação à ferrita



Segunda etapa

- Temperatura entre 200° C e 350° C
- Essa etapa ocorre apenas quando há a presença de austenita retida, por isso é muito importante em aços com teores elevados de C e elementos de liga onde o teor de austenita retida é muito alto
- Nessa etapa parte da austenita retida se transforma em bainita. Essa bainita na terceira etapa sofre uma precipitação de carboneto de ferro transformando-se ao final em cementita e ferrita. Parte se transforma em martensita no resfriamento até a temperatura ambiente.



Terceira etapa

- O carboneto ϵ formado na primeira etapa transforma-se em cementita
- Aumentando a temperatura forma-se um precipitado de cementita nos limites das agulhas de martensita e em seu interior
- Com o aumento de temperatura se redissolve a cementita do interior das agulhas, engrossando a cementita, que envolve a martensita
- Com o aumento da temperatura essa cementita vai tornando-se descontínua nos limites das agulhas de martensita
- Estrutura: martensita revenida

Terceira etapa: martensita revenida

- Para temperaturas abaixo de 400°C ocorre o início da formação de pequenos glóbulos de cementita
- Esse aspecto é o típico da martensita revenida.

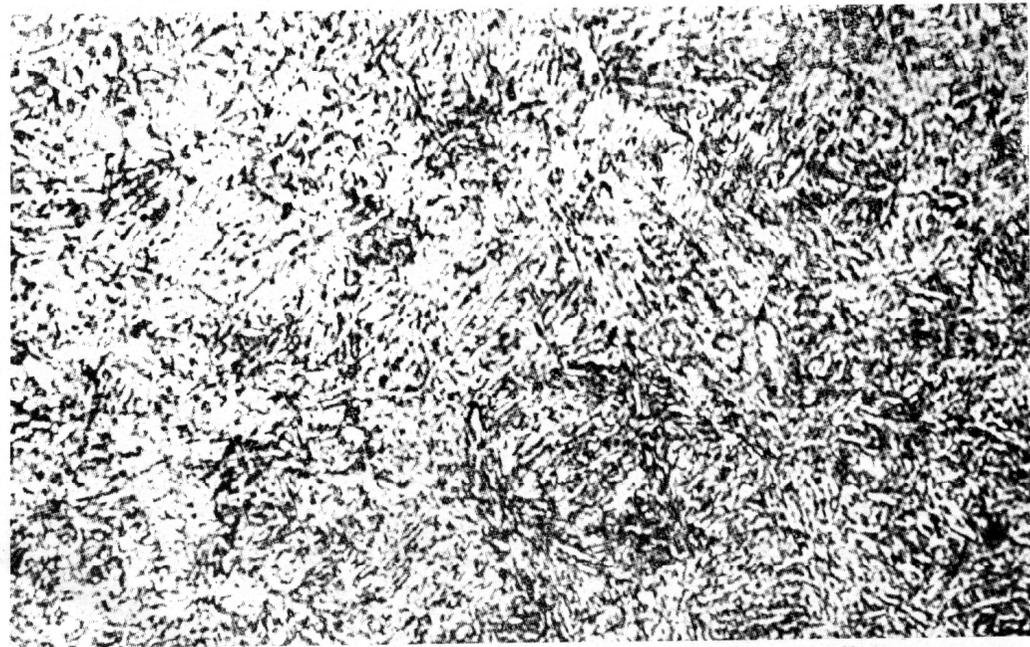


Fig. 467 — Aço com 0,5% de carbono, temperado em água fria e revenido a 400°C . Textura sorbítica com início de formação de pequenos glóbulos de cementita. Ataque: nítrico. 750 x.

Terceira etapa

- Entre 400°C e 600°C a cementita tende a se globulizar e perde a coerência com a matriz
- O aço apresenta-se agora com uma estrutura constituída de pequenas partículas de cementita, geralmente tendendo para a forma esferoidal em um fundo de ferrita. Essa textura característica era denominada sorbita

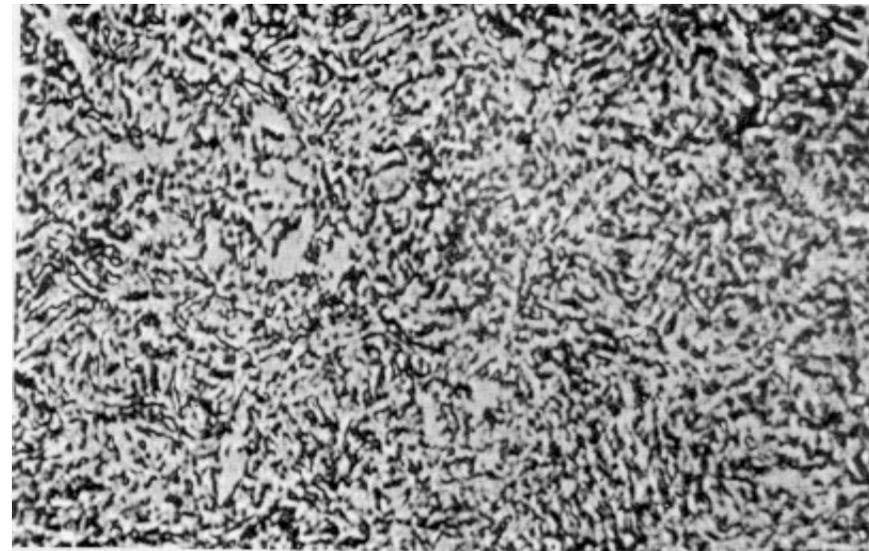
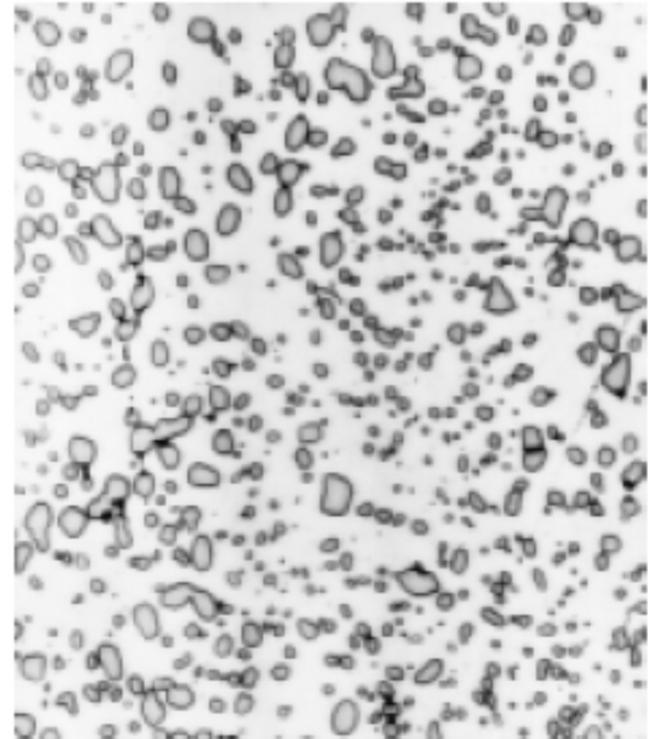


FIG. 54 — Aspecto micrográfico de um aço temperado e revenido. Estrutura: sorbita. Ataque: reativo de nital. Ampliação: 1.000 vezes.

Terceira etapa: estrutura esferoidizada

- Acima de 600°C a matriz recristaliza com a formação de novos grãos ferríticos
- A continuação do processo é um coalescimento contínuo das partículas de cementita. Essa estrutura é típica também do recozido de esferoidização
- É a estrutura mais estável de todos os agregados de ferrita e cementita



Austenita Retida

- Quando na microestrutura dos aços aparece austenita retida as transformações no revenido tornam-se um pouco mais complexas
- Inicialmente há a transformação de martensita tetragonal em martensita cúbica e a precipitação de carbonetos o que se manifesta com um escurecimento da martensita.
- O fundo branco sobre o qual se destaca o reticulado martensítico é a austenita que não se transformou

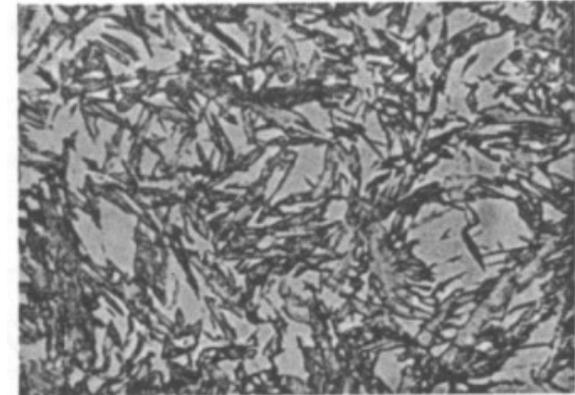


FIGURA 243
Templado y revenido a 175°



FIGURA 244
Templado y revenido a 200°.

Austenita Retida

- A partir de 225° C começa a decomposição da austenita
- Há um gradual desaparecimento do fundo branco de austenita e um escurecimento progressivo de toda a estrutura
- No caso desse aço a transformação de austenita em outros constituintes ocorre entre 225°C e 375°C



FIGURA 246

Templado y revenido a 300°.

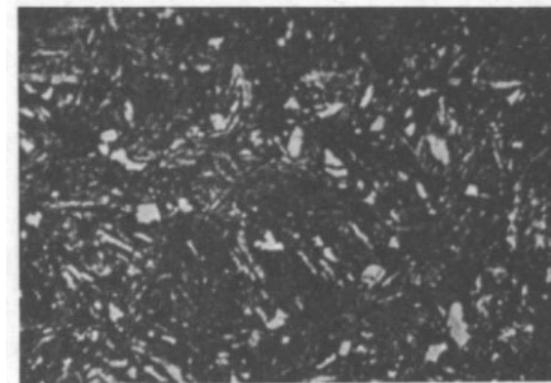


FIGURA 247

Templado y revenido a 350°.

Austenita Retida

- No caso desse aço ele atinge o máximo de escurecimento da estrutura em 400°C
- Após essa temperatura começam a surgir partículas claras de cementita e sua esferoidização que se completa em temperaturas mais elevadas

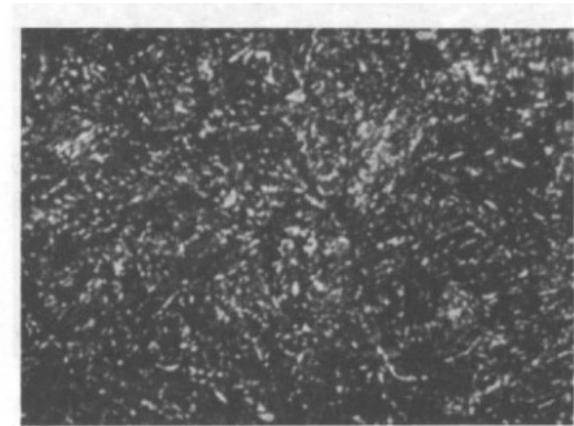


FIGURA 248
Templado y revenido a 375°.

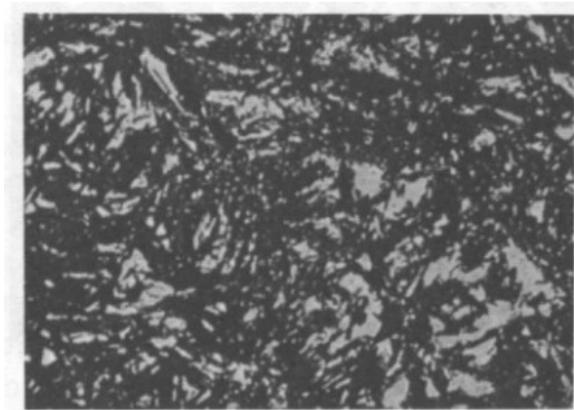
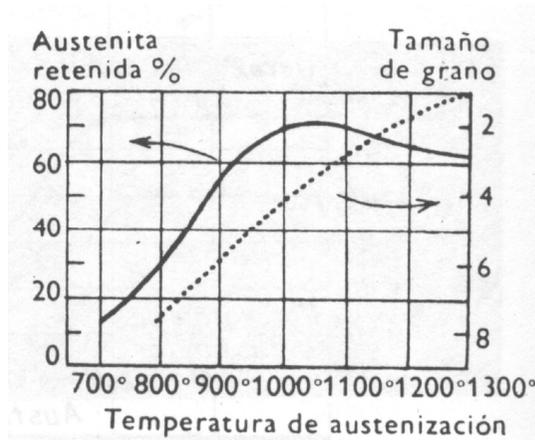
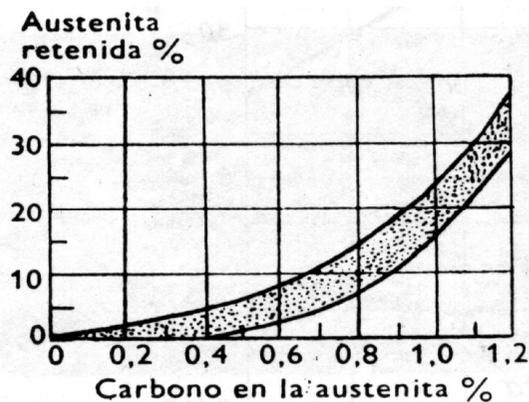


FIGURA 249
Templado y revenido a 450°.

Transformação da Austenita Retida

- A quantidade de austenita retida presente nos aços temperados depende de fatores como: composição, temperatura de austenitização, meio de resfriamento, etc.
- As figuras mostram a relação da porcentagem de carbono e da temperatura de austenitização com a quantidade de austenita retida
- A própria transformação da austenita retida durante o revenido é influenciado pelo teor de carbono



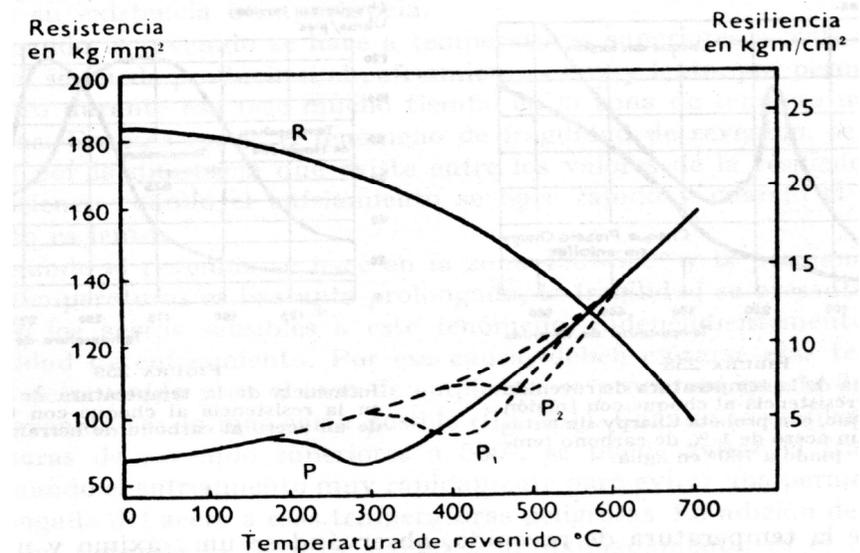


Duplo Revenido

- Em aços em que a austenita leva um tempo muito grande para se transformar, embora ela não se transforme, a austenita sofre modificações com a precipitação de carbonetos diminuindo a supersaturação em carbono e elementos de liga
- A saída desses elementos desestabiliza a austenita, aumenta M_s e no resfriamento subsequente essa austenita se transforma em martensita
- Dessa forma tem-se martensita revenida e essa nova martensita formada sem revenir
- Essa situação induz uma certa fragilidade, portanto torna-se necessário mais um revenido
- Em aços de alto C e alta liga são feitos 4 revenidos

Fragilidade do Revenido

- O objetivo do revenido é aumentar a tenacidade, entretanto em alguns casos, o revenido pode ter efeito contrário, fragilizando o material
- Quando se efetua o revenido em temperaturas entre 230° C e 370° C em algumas classes de aços há uma diminuição de tenacidade
- Essa fragilidade ocorre devido à formação de uma rede ou película que envolve as agulhas de martensita
- Pode ser eliminada empregando-se composições com alto teor de Si, pois inibe o início de precipitação de carbonetos





Fragilidade Krupp

- Outro tipo de fragilidade, chamada Fragilidade Krupp se apresenta quando no revenido os aços são mantidos por algum tempo, ou resfriados lentamente a temperaturas entre 400 e 550° C
- Essa fragilidade causa uma descoesão dos grãos e está relacionada com a presença de impurezas no aço que segregam próximo aos contornos dos grãos na austenitização
- Essa impurezas próximas aos antigos contornos assumem uma configuração fragilizante nessa faixa de temperatura
- A susceptibilidade a esta fragilidade aumenta com a presença dos elementos de liga Mn, Cr e Ni e é representada pela letra S



Aços susceptíveis à fragilidade

- Aços -liga de baixo teor de liga
- Aços que contém apreciáveis quantidades de Mn, Ni, Cr, Sb*, P, S
- Aços ao Cr-Ni são os mais susceptíveis ao fenômeno

** Antimônio é o mais prejudicial*



Como minimizar a fragilidade do revenido

- Manter os teores de P abaixo de 0,005% e S menor 0,01%
- A adição de Mo em porcentagens de 0,15 a 0,5% de C é muito efetiva em evitar tal fragilidade
- Um aço fragilizado pode ter sua tenacidade restaurada reaquecendo - o a uma temperatura maior que 550 °C seguido de resfriamento rápido para evitar a permanência prolongada no aço nas temperaturas onde há fragilidade .

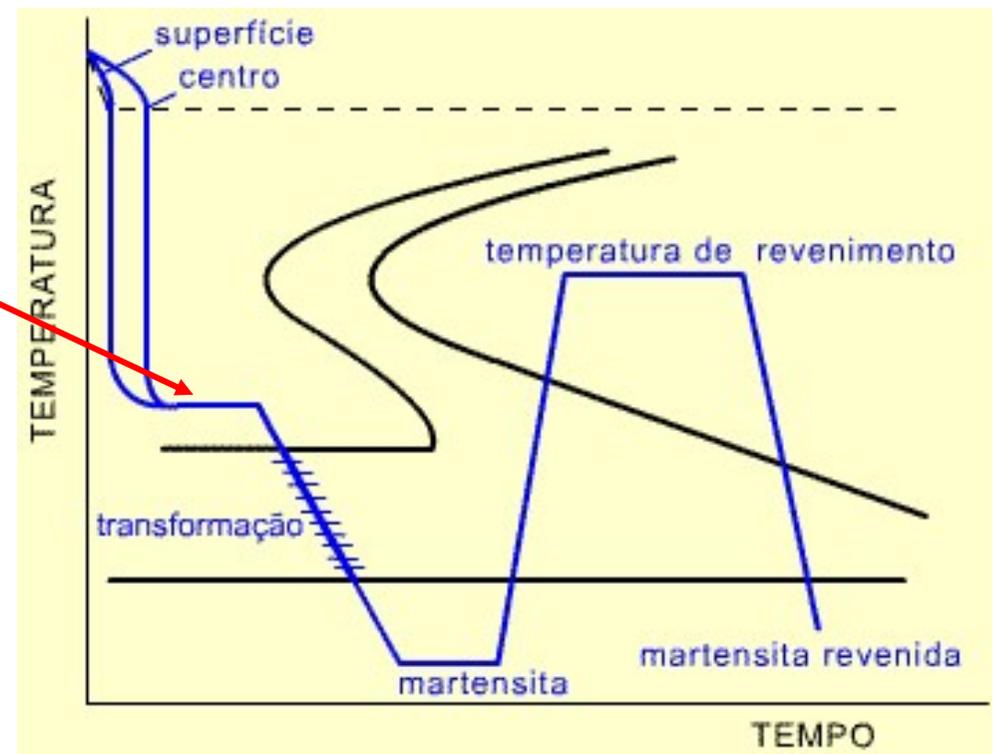


AUSTEMPERA E MARTEMPERA

- **Problemas práticos no resfriamento convencional e têmpera**
- A peça/ parte poderá apresentar empenamento ou fissuras devidos ao resfriamento não uniforme. A parte externa esfria mais rapidamente, transformando-se em martensita antes da parte interna. Durante o curto tempo em que **as partes externa e interna estão com diferentes microestruturas, aparecem tensões mecânicas consideráveis. A região que contém a martensita é frágil e pode trincar.**
- Os tratamentos térmicos denominados de martempera e austempera vieram para solucionar este problema

MARTEMPELA

- O resfriamento é temporariamente interrompido, criando um **passo isotérmico**, no qual toda a peça atinga a mesma temperatura. A seguir o resfriamento é feito lentamente de forma que a martensita se forma uniformemente através da peça. A ductilidade é conseguida através de um revenido final.



AUSTEMPERA

- Outra alternativa para evitar distorções e trincas é o tratamento denominado austêmpera, ilustrado ao lado
- Neste processo o procedimento é análogo à martêmpera. Entretanto a **fase isotérmica** é prolongada até que ocorra a completa transformação em bainita. Como a microestrutura formada é mais estável ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$), o resfriamento subsequente não gera martensita. Não existe a fase de aquecimento, tornando o processo mais barato.

