

# ZENER PINNING, RELAÇÃO DE HALL-PETCH, TAMANHO DE GRÃO DA AUSTENITA E MORFOLOGIAS DA FERRITA – PARTE II

Metalurgista Industrial

junho 2020

[www.metalurgistaindustrial.com.br](http://www.metalurgistaindustrial.com.br)

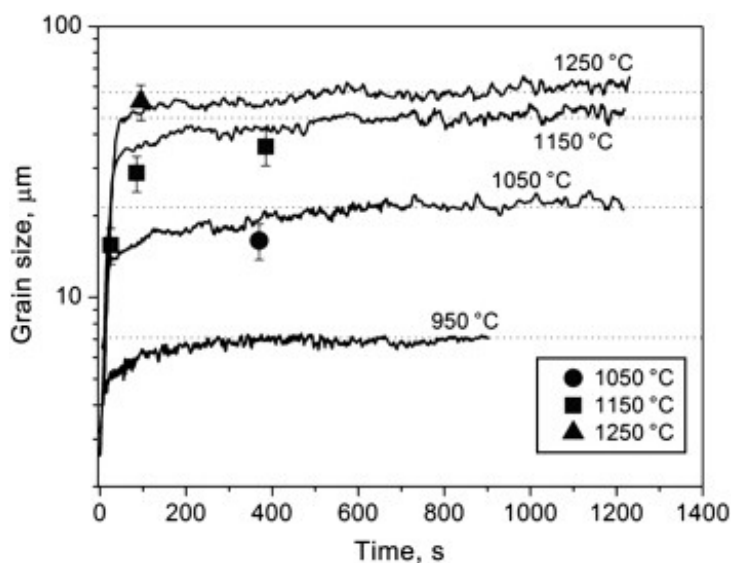
## Tamanho de grão da austenita

O tamanho de grão dos aços é usualmente entendido como o tamanho de grão da austenita, que é o existente antes de o aço sofrer resfriamento e a austenita ser transformada em outros componentes estruturais, ou seja, o tamanho dos grãos da austenita anterior (*prior austenite grains*).

O tamanho de grão da austenita é uma relevante característica dos aços. Menores os tamanhos de grão, melhores as propriedades mecânicas à temperatura ambiente tais como dureza, limite de escoamento, limite de resistência, resistência à fadiga e resistência ao impacto. Ao aquecer o aço através de sua temperatura crítica, referenciada na Resenha Técnica O que é o Aço – Diagrama de Equilíbrio, ocorrerá a transformação da austenita, e esta assim formada deterá grãos extremamente pequenos, mas que crescem em tamanho à medida que a temperatura e o tempo são aumentados. O tamanho de grão permanecerá pequeno para aços mantidos a temperaturas logo acima da crítica (superior). Entretanto, a temperaturas mais elevadas, diferentes aços exibem uma grande variação no tamanho de grão dependendo da composição química e práticas de processamento como desoxidação e tratamentos anteriores.

O tamanho de grão da austenita depende, então, (i) da temperatura na qual o aço é aquecido, (ii) do tempo de permanência a essa temperatura e (iii) da tendência do aço ao crescimento de grão, isto é, a natureza inerente do aço.

A figura a seguir reflete um exemplo de crescimento de grão para um aço ARBL microligado. Para temperaturas abaixo de 1.000°C observa-se um reduzido crescimento de grão. 1.050°C é referida como a temperatura de engrossamento (*coarsening temperature*) de grão. As tendências de crescimento do grão da austenita são interpretadas considerando o papel de precipitados e suas graduais dissoluções durante o aquecimento.



Maiores tamanhos de grãos, por outro lado, favorecem as propriedades dos aços relacionadas com a plasticidade tais como a conformabilidade e a ductilidade (grãos mais grosseiros detêm maior ductilidade intrínseca do que grãos finos), a usinabilidade e a temperabilidade devido ao decréscimo da área de contornos de grãos.

No caso da usinabilidade, a de acabamento é favorecida por menores tamanhos de grãos. Adicionalmente, maiores tamanhos de grãos provocam decréscimo nas perdas por histerese como mencionado na Resenha Técnica Aços Elétricos. O aumento do tamanho de grão resulta em um ritmo mais lento de fluência devido à elevada taxa de difusão ao longo dos contornos de grãos. Grãos grosseiros de austenita correspondem ao valor ASTM 1-5.

### Morfologias da ferrita

As morfologias da ferrita são classificadas à medida que a temperatura de transformação  $\gamma - \delta$  é reduzida:

(i) Alotriomorfos, que têm uma forma que não reflete sua simetria cristalina interna porque tende a nuclear nos contornos de grãos da austenita formando camadas que seguem os contornos de grãos.

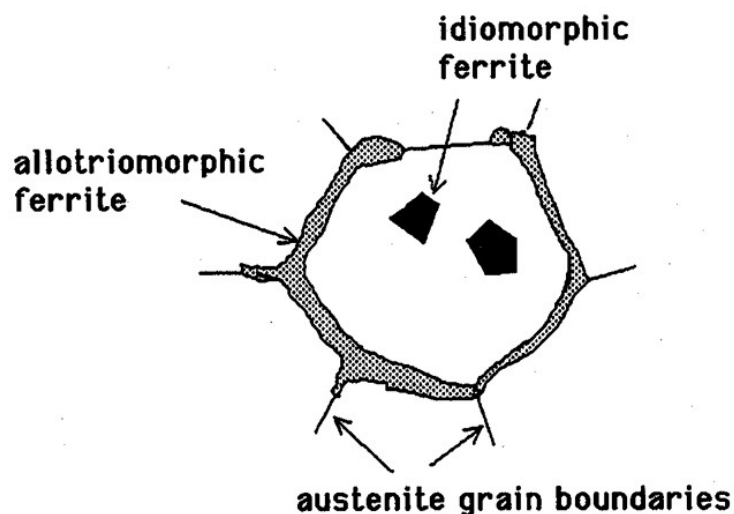
(ii) Placas ou ripas de Widmanstätten, que crescem ao longo de planos bem definidos da austenita e não o fazem através dos contornos de grãos desta. A ferrita Widmanstätten primária cresce diretamente dos contornos de grãos. A secundária desenvolve-se da ferrita alotriomorfa já presente na microestrutura.

(iii) Idiomorfos intragranulares, que consistem em cristais equiaxiais que nucleiam dentro dos grãos da austenita, usualmente sobre inclusões não metálicas presentes no aço. Um idiomorfo forma-se sem contato com superfícies de grão da austenita e têm uma forma de cristais facetados.

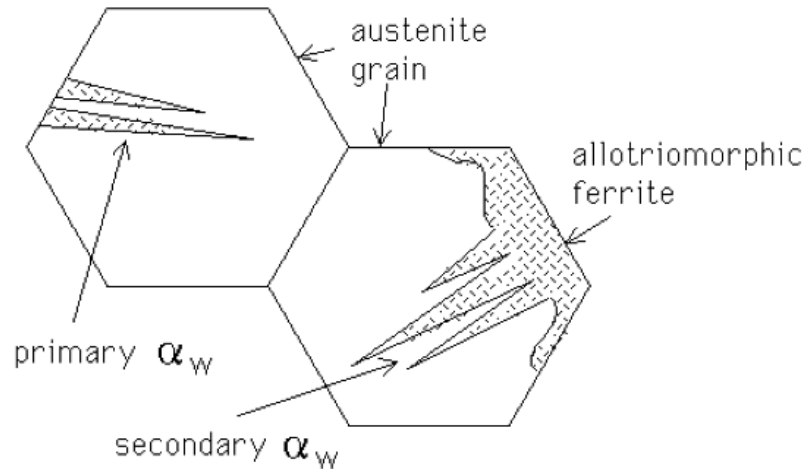
(iv) Placas intergranulares, que são similares àquelas que crescem dos contornos de grãos, mas nucleiam inteiramente dentro dos grãos de austenita.

Os alotriomorfos de contornos de grãos são a primeira morfologia a aparecer em toda a faixa de composição e temperatura. Porém, a elevadas temperaturas (acima de 800°C) eles predominam pelo crescimento ao longo dos contornos e também dentro dos grãos de modo a propiciar uma estrutura de grão bem definida, geralmente referida como ferrita equiaxial, também denominada poligonal.

A figura a seguir ilustra alotriomorfo de contorno de grão e idiomorfo intragranular.



Abaixo, ferrita Widmanstätten primária e secundária.



Outra morfologia referenciada da ferrita é a acicular, caracterizada pela forma de agulha, mas é reconhecido que se trata de uma morfologia de placas lenticulares finas, formando um arranjo de grãos interligados. Essa microestrutura é vantajosa comparativamente a outras devido ao seu ordenamento caótico que favorece a tenacidade e propicia máxima resistência à propagação de trincas por clivagem.

A ferrita acicular é usualmente associada a depósitos de solda por fusão, nos quais ambas ferrita acicular e bainita podem se formar por mecanismos similares de transformação, exceto pelos sítios de nucleação. A bainita nucleia-se ao longo dos contornos de grãos de austenita, enquanto que a ferrita acicular nucleia-se intergranular e heterogeneamente em inclusões de óxidos e outras não metálicas e irradia-se em diferentes direções a partir desses sítios de nucleação. A bainita é referida na Resenha Técnica O que é o Aço – Bainita.

A imagem em prosseguimento é a de manifestação de ferrita acicular em região de solda.

