

MECANISMO DE FORMACIÓN DE LA PERLITA

Perlita es la denominación que se da a estructuras consistentes en láminas alternadas de dos fases sólidas, según se puede observar por microscopía óptica. Por tanto, la Perlita no es una fase, sino que corresponde a una morfología bifásica.

Esta morfología se obtiene como resultado de algunas transformaciones de fase donde, al retirar calor, una fase da como resultado dos fases sólidas. Entonces, pueden ser producto, como condición necesaria pero no suficiente, de transformaciones eutécticas ($L = \alpha + \beta$) y eutectoides ($\gamma = \delta + \epsilon$).

Hemos ya indicado que se emplean letras griegas para hacer referencia a soluciones sólidas. No obstante, en las expresiones anteriores, las letras griegas se refieren a fases sólidas de todo tipo (soluciones sólidas o compuestos definidos).

Dos ejemplos de sistemas que dan perlita son el eutéctico Pb-Sn y el eutectoide Fe-Fe₃C (subconjunto del diagrama Fe-C). Este último sistema, por estar asociado a los aceros al carbono, corresponde a la primera perlita conocida y famosa.

Las referidas transformaciones de fase, como la mayoría de las transformaciones, se dan por nucleación y crecimiento. Esto significa que, cuando corresponde, primero aparecen núcleos de ese producto bifásico, y después los núcleos crecen, hasta la desaparición total de la fase inicial. La forma específica (mecanismo) en que ocurre una transformación depende a su vez de mecanismos atómicos elementales específicos de ella (nucleación y difusión atómica, particularmente); este mecanismo de

transformación puede entonces ser diferente al cambiar los elementos químicos (componentes) involucrados.

En casos en que la nucleación es difícil, por razones específicas del sistema, entonces las reacciones eutécticas y eutectoides tenderán a producir perlita (laminar), ver Fig. 7. Esto a partir de unos pocos núcleos que disponen de un gran volumen para que crezca una colonia de perlita (un (1) conjunto único de láminas paralelas). Por otra parte, cuando la nucleación es muy fácil (copiosa) entonces habrá muchos puntos de nucleación y cada uno de ellos dará origen a un cristalito de una de las nuevas fases, rodeado por una región de la otra fase de baja temperatura; al haber muchos núcleos, estos no podrán crecer mucho, pues llegarán rápidamente a la zona donde ya se desarrolló otro. Como resultado de la condición de nucleación fácil, se tendrá una morfología bifásica consistente en partículas de una fase distribuidas en una matriz de otra fase, ver Fig. 8. A esta morfología se le llama en esferoidita; también se le denomina ocasionalmente perlita esferoidal, por extensión de la expresión perlita, lo cual induce alguna confusión. Bajo otras condiciones de nucleación limitada y de crecimiento preferencial según una dirección cristalina, el producto bifásico adopta la morfología de barras paralelas de una fase en una matriz de la otra fase de baja temperatura, ver Fig. 8.

Veamos el caso de la reacción perlítica (laminar) de los aceros, es decir, de la transformación eutectoide del sistema Fe-Fe₃C, ver Figs. 1-6, para una aleación de composición eutectoide ($W_0 = 0,8\% \text{p.C}$). Supongamos una situación inicial en que se tiene la fase de alta temperatura austenita (γ) de composición eutectoide a temperatura eutectoide ($T_e = 723^\circ\text{C}$) y sacamos calor; asumamos, además, que la

austenita es policristalina. Entonces se producirá la transformación eutectoide, dando el producto bifásico $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (ferrita saturada (0,02%p.C) + cementita (6,7%p.C)), un compuesto definido). Esta transformación se inicia, nuclea, de la manera siguiente. Primero aparece un pequeño cristalito de Fe_3C ($W = 6,7\%$ p.C) que, por ser rico en C, empobrece su vecindad en C, ver Figs. 1 y 6; normalmente, este cristalito aparece (nuclea) donde hay un defecto cristalino preexistente, como lo es un borde de grano γ/γ de un policristal. Dado que en la vecindad de ese cristalito se produce un empobrecimiento en C, esa vecindad, bajo las condiciones impuestas, tiende a transformarse en una fase pobre en C, la ferrita justamente ($W = 0,02\%$ p.C), ver Figs. 2 y 6. Allí ya se produjo la nucleación; si suponemos que la nucleación es difícil, como lo es en el sistema Fe- Fe_3C , esto mismo podrá producirse en el mismo grano de γ , pero en una ubicación bastante alejada del primero. De modo que el primer núcleo podrá crecer en un gran volumen antes de llegar a una zona en que deberá competir con otro núcleo. En el caso de la perlita de los aceros, el primer cristalito de cementita formará ferrita a los dos lados de ella, ver Figs. 3 y 6. En seguida, ese cristalito crecerá, y lo hará hacia delante, como también lo harán los dos cristales de ferrita laterales. Pero, a su vez, esos cristales de ferrita entregarán C tanto a su izquierda como a su derecha, por lo que a cada lado de ellas tendrán cementita (Fe_3C ; 6,7%p.C); esto mismo le ocurrirá a esos cristalitos de cementita, que tenderán a captar C desde sus dos lados: de modo que aparecerán muchas láminas vecinas de estas dos fases alternadas. Como este conjunto crece hacia delante y también hacia abajo, pero no hacia al lado (porque los cristales están en contacto lateral), entonces las fases crecerán como láminas alternadas, formando una

colonia de perlita, dentro del antiguo grano de austenita, ver Figs. 4 y 6. Este compuesto bifásico (colonia de perlita) crecerá en la antigua fase γ hasta que esta última se acabe, (y mientras saquemos calor).

Esta transformación terminará cuando una colonia de perlita (conjunto de láminas paralelas originadas en un núcleo) crezca hasta una zona donde, partiendo de otro núcleo, se haya desarrollado ya otra colonia de perlita y, por lo tanto, no haya disponible austenita (γ) que transformar. Así, en un grano original de γ se podrán generar varias colonias de perlita. Incluso, en ocasiones, durante el crecimiento de una colonia, pueden producirse defectos de crecimiento, lo que hace que se desarrolle una colonia de perlita (degenerada) derivada de una primera colonia (ver Fig. 5). La Fig. 7 corresponde a una micrografía de perlita en un acero eutectoide; allí se ven varias colonias.

Un diagrama de equilibrio indica qué fases resultantes debe haber, así como su composición y fracción. Sin embargo, la morfología de las fases de equilibrio depende del mecanismo atómico de cómo estas aparecen; la velocidad de enfriamiento también influye, pero esa es una variable a considerar en un curso más avanzado. Adelantemos algo que viene a continuación en el curso. Si se enfría suficientemente rápido, por razones de cinética química, podríamos no tener como producto las fases de equilibrio, sino que aparecerían fases metaestables, que no están indicadas en el diagrama. En el caso de los aceros, por enfriamiento rápido aparece la importante fase martensítica, a través de un mecanismo sin difusión atómica, sino sólo un reajuste atómico local. La martensita es una fase con la misma composición de la austenita, pero con diferente estructura cristalina

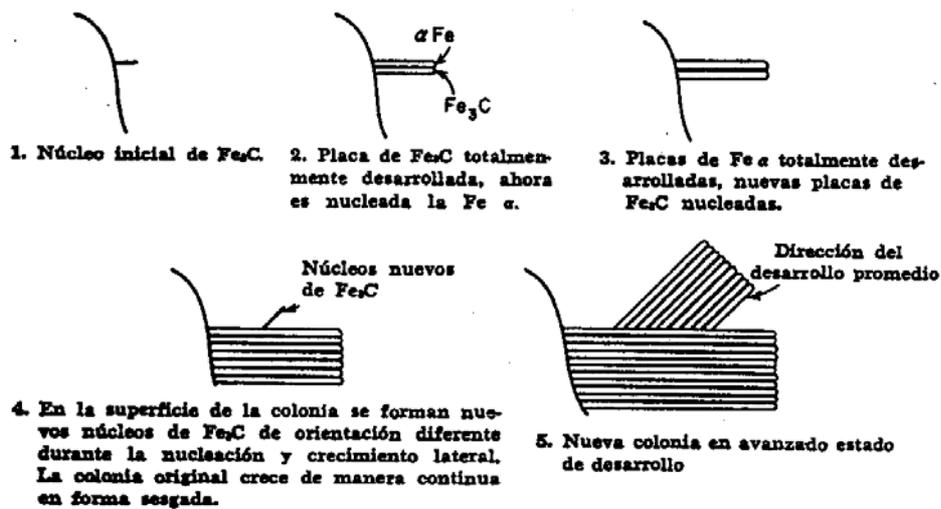


Fig. 17.5. Nucleación y crecimiento de la perlita. (Mehl, R. F., *Trans. ASM*, 29, 1941, Pág. 813)

Figs. 1-5 Mecanismo de nucleación de la perlita de los aceros. En este caso la transformación eutectoide consiste en la transformación de una fase de alta temperatura austenita y de composición eutectoide (solución sólida de inserción, 0,8%p.C), en dos fases estables a baja temperatura: ferrita (α saturada, 0,02%p.C) y cementita (Fe_3C , 6,7%p.C). La morfología del producto es de láminas alternadas de ferrita y cementita, formando una colonia que se desarrolló a partir de un núcleo; a un compuesto bifásico con dicha morfología laminar se le llama perlita.

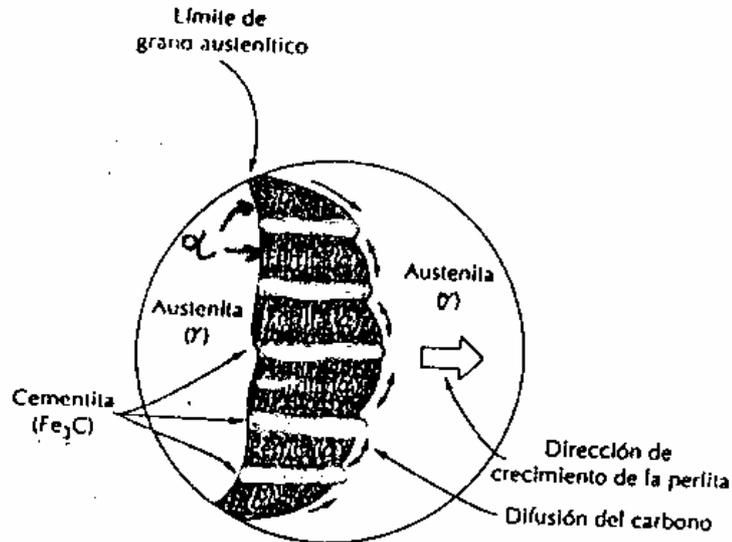


Figura 6. La figura ilustra esquemáticamente los cambios microestructurales que acompañan la reacción eutectoide con formación de Perlita; las flechas indican la dirección de la difusión del C. Se entiende que hay un borde de grano austenita/austenita vertical y que allí se inicia la nucleación. Los átomos de C difunden de la región ferrítica (fase oscura) a las capas laterales de cementita, para conseguir en estas últimas la concentración del 6.7% p.C. El agregado laminar bifásico llamado Perlita, crece hacia la derecha, desde los bordes de grano austeníticos. En este mecanismo, la nucleación es limitada y los átomos de C sólo necesitan difundir distancias del orden del espesor de las láminas.

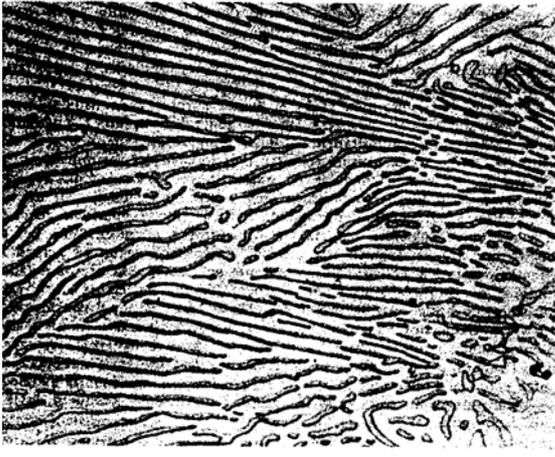


Figura 7. Perlita en un acero eutectoide. La fase que se ve gris es cementita y la más blanca es ferrita.

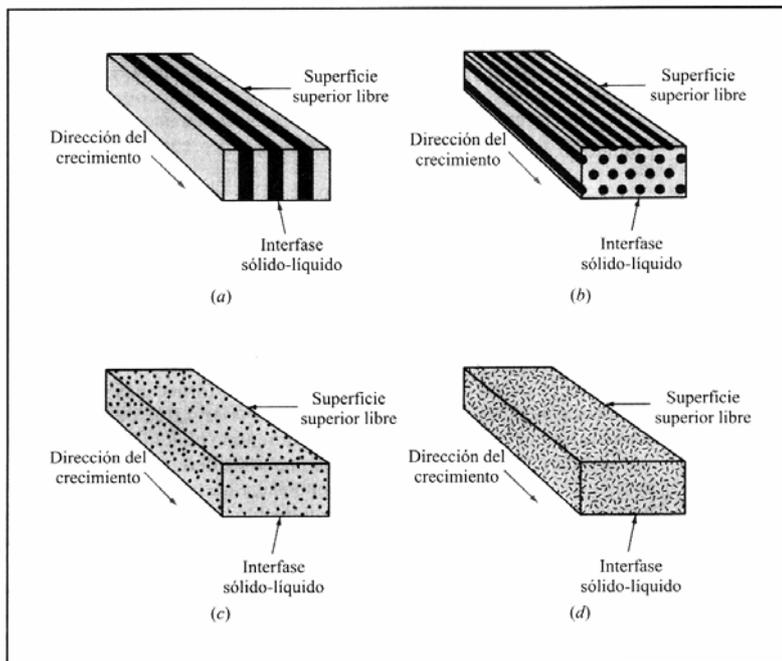


Fig. 8 Distintas morfologías de productos bifásicos eutécticos o eutectoides.