

MECANISMO DE FORMACIÓN DE LA PERLITA

Perlita es la denominación que se da a estructuras metalográficas consistentes en láminas alternadas de dos fases sólidas. 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 al equilibrio que, con un enfriamiento, dan como resultado dos fases. Entonces, pueden ser producto, como condición necesaria pero no suficiente, de transformaciones eutécticas y eutectoides:

$$L = \alpha + \beta$$
$$\gamma = \delta + \varepsilon$$

Hemos ya indicado que se emplean las 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 hemos visto y dan perlita son el eutéctico Pb-Sn y el eutectoide Fe-Fe₃C. Este último sistema, por corresponder a los aceros, da lugar a la primera perlita conocida y a la más famosa.

Las referidas transformaciones de fase, como la mayoría de las transformaciones, se dan por nucleación y crecimiento. Esto significa que, de alguna manera, cuando corresponde, comienza a aparecer una pequeña cantidad (núcleo) de ese producto bifásico, y después se desarrolla tal producto, hasta que desaparezca totalmente la fase inicial. La forma en que ocurre una transformación depende de mecanismos atómicos específicos de ella; este mecanismo puede no ser el

mismo para distintas reacciones (por ejemplo, eutécticas), al haber parejas diferentes de elementos químicos involucrados.

En casos en que la nucleación es difícil, por razones específicas del sistema, entonces las dos reacciones eutécticas y eutectoides tenderán a producir perlita. Por el contrario, si la nucleación fuese muy fácil (copiosa) entonces habrá muchos puntos de nucleación y cada uno de ellos dará lugar, como producto final, a partículas de una de las nuevas fases inmersas en la otra fase; al haber muchos núcleos estos no podrán crecer mucho, pues llegarán rápidamente a la zona donde 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. A esta última morfología se le llama en ocasiones perlita esferoidal, por extensión de la expresión perlita.

Veamos el caso de la reacción perlítica de los aceros, es decir, de la transformación eutectoide del sistema Fe-Fe₃C, ver Figs. 1-6. Supongamos una situación inicial en que se tiene austenita (γ) de composición eutectoide ($w = 0,8\% \text{p.C}$) a temperatura eutectoide y sacamos calor. Entonces se producirá la transformación eutectoide, dando el producto bifásico $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (ferrita + cementita). Esta transformación se inicia, nuclea, de la manera siguiente. Primero aparece un pequeño cristalito de Fe₃C ($w = 6,7\% \text{p.C}$) 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 ($w = 0,02\% \text{p.C.}$), 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 se producirá 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 él, 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; 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 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 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.

Debe tenerse presente que la termodinámica del equilibrio, expresada través de los diagramas de equilibrio de fases, indica qué fases resultantes debe haber, así como su composición relativa y fracción. Sin embargo, la morfología de las fases de equilibrio depende del mecanismo atómico de cómo estas aparecen; también algo influye la velocidad de enfriamiento, pero esa es una variable a considerar en un curso más avanzado. Sí 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, que son las que indican el diagrama, sino que podrían aparecer fases metaestables, que no están indicadas en el diagrama. En el caso de los aceros, por enfriamiento rápido aparece la importante fase martensítica; en este enfriamiento rápido no alcanza a haber difusión, sino sólo un reacomodo atómico local. Así, la fase austenita cambia de estructura cristalina: una fase inicial (austenita) da lugar a una sola fase final (martensita), teniendo ambas la misma composición.

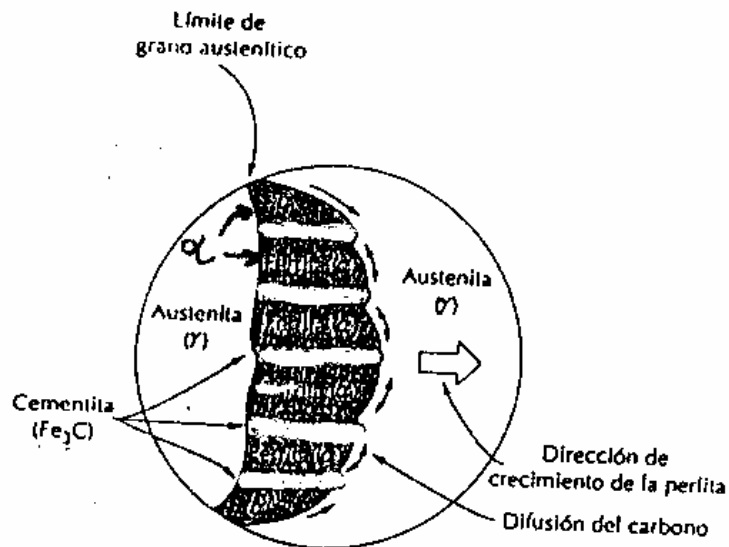
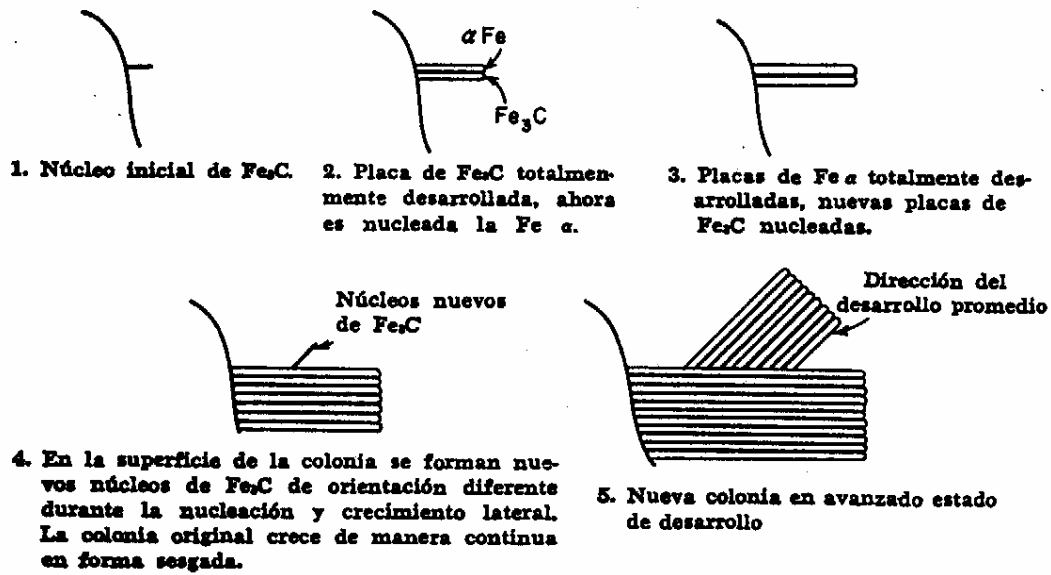


Figura 6. La figura ilustra esquemáticamente los cambios microestructurales que acompañan la reacción eutectoide del sistema Fe-C, con formación de Perlita; las flechas indican la dirección de la difusión del C. Se entiende que hay un borde de grano austenita/austenita vertical y que allí se inicia la 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. Con este mecanismo, la nucleación es limitada y los átomos de C sólo necesitan difundir distancias del orden del espesor de las láminas.

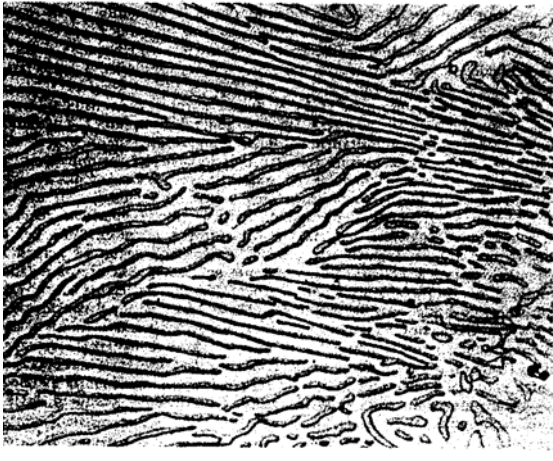


Figura 6. Perlita en un acero eutectoide. La fase que se ve gris es cementita y la blanca es ferrita.