

بسمه تعالی



دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی

فصل دوم - فازها و ساختارهای تعادلی

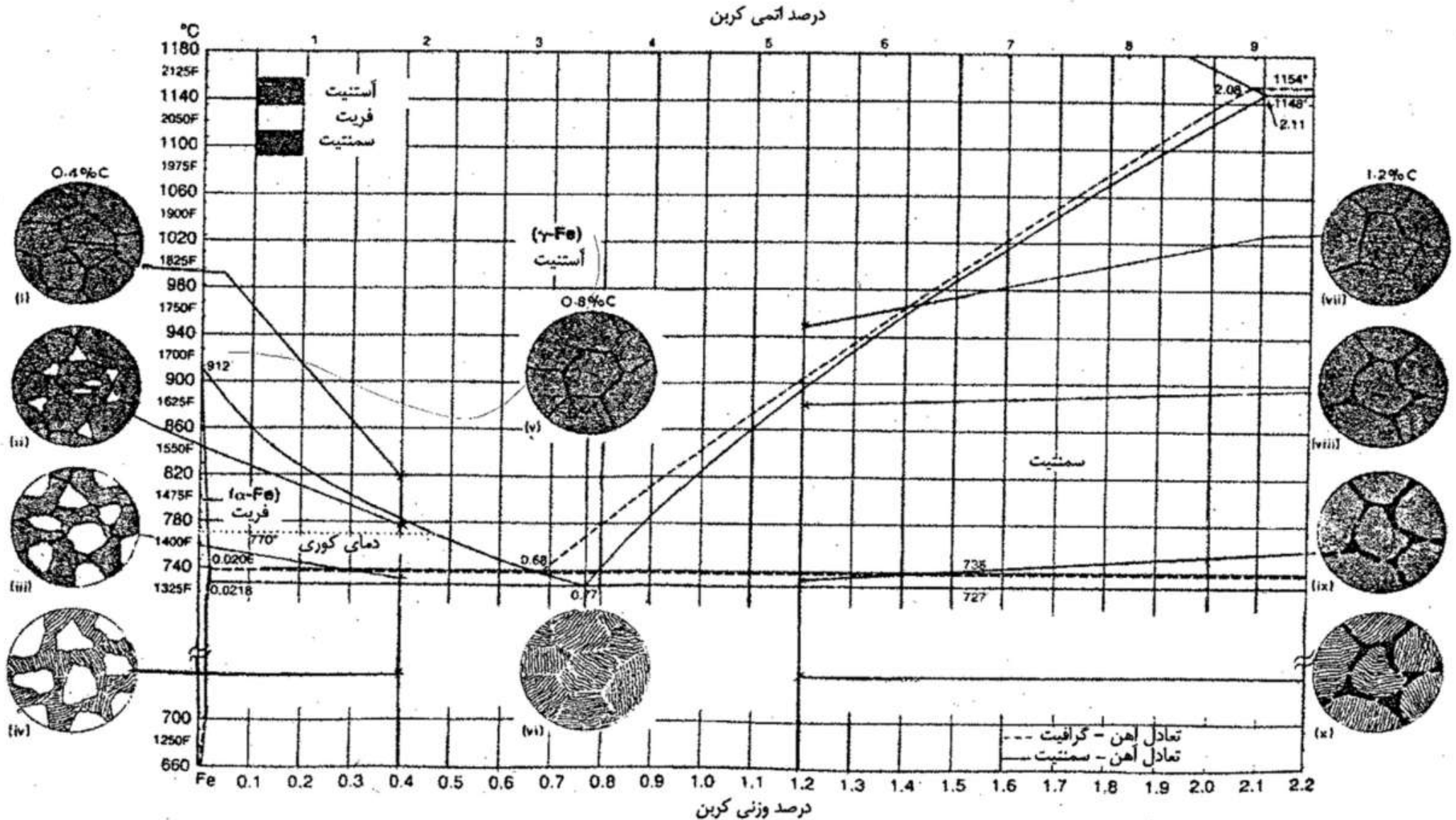
برگرفته از کتاب مبانی و کاربردهای عملیات حرارتی فولادها و چدن ها
(نوشته دکتر محمد علی گل‌عذار)

دکتر محمود سمیع زاده

m_sameezadeh@sbu.ac.ir

فصل دوم - فازها و ساختارهای تعادلی

ترکیب شیمیایی آلیاژ و اهنگ سرد شدن آستنیت، بر میکروساختار حاصل اثر می گذارند.



شکل ۱-۲ بخشی از نمودار تعادلی آهن - کربن که دگرگونی یوتکتویدی و تشکیل فازهای فریت پرویوتکتوید و سمتیت پرویوتکتوید را مشخص می کند [۱ و ۳].

* دگرگونی یوتکتویدی

□ آلیاژ Fe-0.77C در تمام دماهای بالای A_1 بطور کامل آستنیت است

□ اگر این آلیاژ را برای مدت زمان کافی در دمای فوق بماند و سپس با نرخ بسیار آهسته تا زیر دمای A_1 سرد شود، آستنیت باید به مجموعه‌ای از فریت و سمنتیت تبدیل شود.

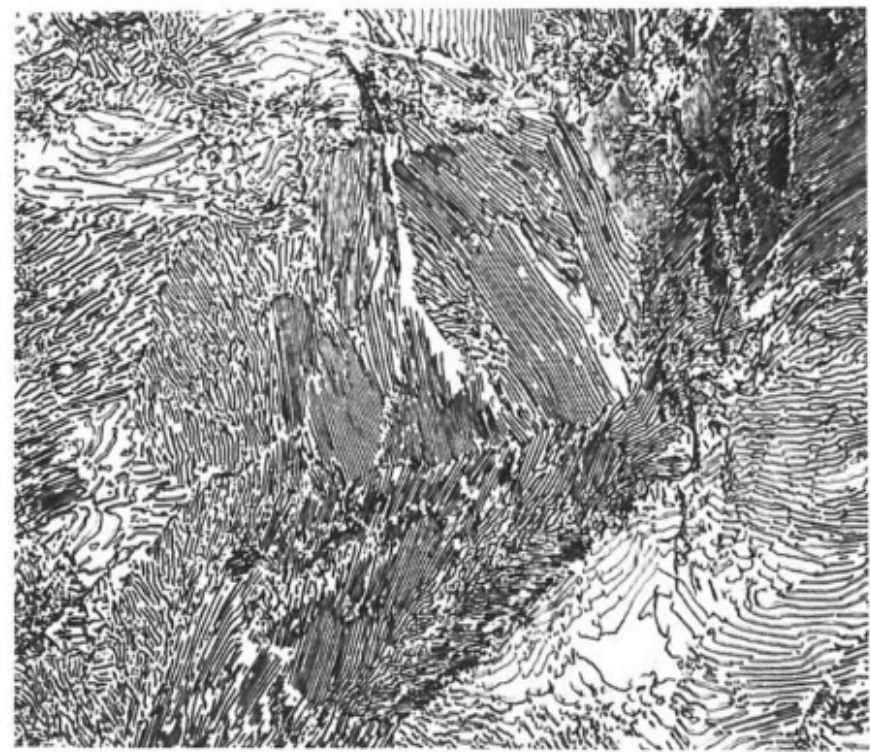
□ دگرگونی یوتکتویدی:



□ فازهایی که در این تحول شرکت می کنند دارای ترکیب شیمیایی ثابت هستند.

* ساختار پرلیت

محصول دگرگونی یوتکتوید در فولادها، ریزساختار منحصربه‌فردی موسوم به پرلیت است. پرلیت از لایه‌های متناوب فریت و سمنتیت تشکیل می‌شود و مشابه با اثر انگشت روی کاغذ است (شکل‌های ۱-۲ و ۲-۲). به بیان دیگر، ساختار پرلیت توسط مجموعه‌ها یا دسته‌هایی^۲ از لایه‌های متناوب فریت و سمنتیت با فواصل و جهت‌های مختلف مشخص می‌شود. یکسان نبودن فواصل لایه‌های پرلیت در نواحی مختلف، تا حدی به زاویه برخورد لایه‌ها با سطح پولیش‌شده نمونه مربوط است. اگر فرض شود که تمامی پرلیت در یک دمای ثابت تشکیل شده باشد، فواصل بین تمام لایه‌های پرلیت، یکسان و برابرند.



شکل ۲-۲ ریزساختار پرلیت مربوط به آلیاژ $Fe-0.075\%C$ که پس از آستنیت شدن در کوره سرد شده است. محلول حکاکی پیکرال، بزرگ‌نمایی $\times 500$ [۱].



شکل ۲-۳ پرلیت شامل لایه‌های سمیتیت در زمینه‌ای از فریت، بزرگ‌نمایی $\times 2500$

❑ دسته‌هایی از پرلیت (Pearlite) که لایه‌های تشکیل دهنده آن عمود بر سطح پولیش باشند، فاصله واقعی دارند.

❑ لایه‌هایی که زاویه برخورد آن‌ها با سطح پولیش شده، کم‌تر از ۹۰ درجه باشد، دارای فواصل بین لایه‌ای بیش‌تری نسبت به فاصله واقعی بین لایه‌ای هستند.

❑ یکسان نبودن این فواصل بین لایه‌ای می‌تواند به این دلیل باشد که پرلیت در یک بازه گسترده‌ای از دما تشکیل می‌شود، نه در دمای ثابت.

❑ فریت و سمنتیت فازهایی هستند که هر دو در زیر میکروسکوپ، روشن دیده می‌شوند. بنابراین خطوط سیاه رنگ، فصل مشترک‌های این دو فاز هستند.

❑ در هر دمایی به کمک قانون اهرم، می‌توان ترکیب شیمیایی و مقادیر فازهای مختلف موجود در یک ناحیه دو فازی در یک سیستم دوتایی را تعیین کرد.

یک خط افقی که از دمای موردنظر عبور می‌کند و به خط دمای ثابت (Tie line) می‌رسد، مشخص کننده اهرم می‌باشد، و ترکیب شیمیایی آلیاژ، نقطه اتکای آن است. محل‌های تلاقی خط دمای ثابت با فصل مشترک‌های ناحیه دوفازی و نواحی تک فازی مجاور آن ترکیب شیمیایی فازهای موجود در ناحیه دوفازی را مشخص می‌کنند. مقدار کمی هرکدام از فازها متناسب با طولی از خط دمای ثابت بین نقطه اتکا و نقطه مربوط به ترکیب شیمیایی فاز دیگر است.

برای محاسبه مقادیر سمنتیت و فریت موجود در پرلیت در دمای ۷۲۷ درجه سانتی‌گراد، یک خط دمای ثابت را درست در زیر خط A_1 درنظر می‌گیریم. با استفاده از قانون اهرم می‌توان برای آلیاژ Fe-0.77C نشان داد که در دمای یوتکتوئید:

$$\text{درصد وزنی سمنتیت در پرلیت} = \frac{0/77 - 0/02}{6/67 - 0/02} \times 100 = 11/3$$

$$\text{درصد وزنی فریت در پرلیت} = \frac{6/67 - 0/77}{6/67 - 0/02} \times 100 = 88/7$$

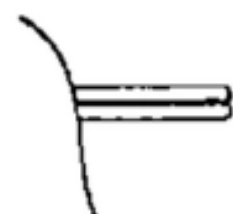
از آنجایی که چگالی فریت و سمنتیت بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشد، درصد حجمی فریت و سمنتیت در ساختار پرلیت، تا حدودی برابر درصد وزنی آنها است.

* تشکیل پرلیت

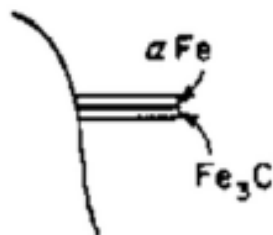
تشکیل پرلیت از آستنیت به وسیله جوانه زنی و رشد انجام می شود. مشابه با تمامی حالت های دیگر، در این مورد نیز جوانه زنی ناهمگن است. اگر آستنیت همگن باشد (یکنواخت از نظر ترکیب شیمیایی)، جوانه زنی به طور عمده در مرز دانه ها انجام می شود. در صورتی که آستنیت همگن نباشد (برای نمونه، داخل دانه های آستنیت، شیب غلظتی و یا ذره های کاربید آهن وجود داشته باشد)، جوانه زنی پرلیت نه تنها در مرز دانه ها، بلکه داخل دانه ها نیز انجام می شود.

فرض می شود که نخستین جوانه فعال پرلیت، یک لایه بسیار نازک و کوچک سمنتیت باشد که در مرز دانه آستنیت تشکیل می شود و به داخل یکی از دانه ها رشد می کند. همچنان که این صفحه کوچک از ضخامت و طول رشد می کند، اتم های کربن موجود در آستنیت اطراف خود را جذب می نماید. در نتیجه، غلظت کربن آستنیت در مجاور لایه سمنتیت افت می کند و یک شیب غلظتی کربن به وجود می آید. زمانی که درصد کربن در ناحیه ای از آستنیت در مجاور لایه سمنتیت به یک مقدار تاحدودی ثابت و در حدود غلظت کربن در فریت رسید، جوانه های فریت بوجود می آیند و در امتداد لایه های سمنتیت رشد می کنند.

رشد لایه‌های فریت، همراه با افزایش درصد کربن در فصل مشترک فریت-آستنیت خواهد بود، که باعث ایجاد جوانه‌های جدید سمنتیت می‌شود. با ادامه این فرآیند لایه‌های متناوب مربوط به یک دسته پرلیت تشکیل خواهند شد.



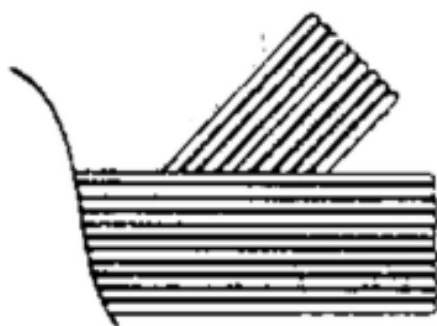
الف) جوانه اولیه سمنتیت
(ج) لایه فریت، به طور کامل رشد کرده و سمنتیت جوانه زده است.



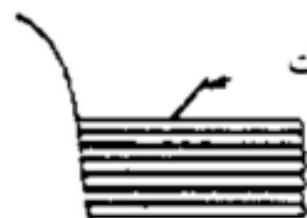
ب) لایه سمنتیت، به طور کامل رشد کرده و فریت جوانه زده است.



جوانه جدید سمنتیت



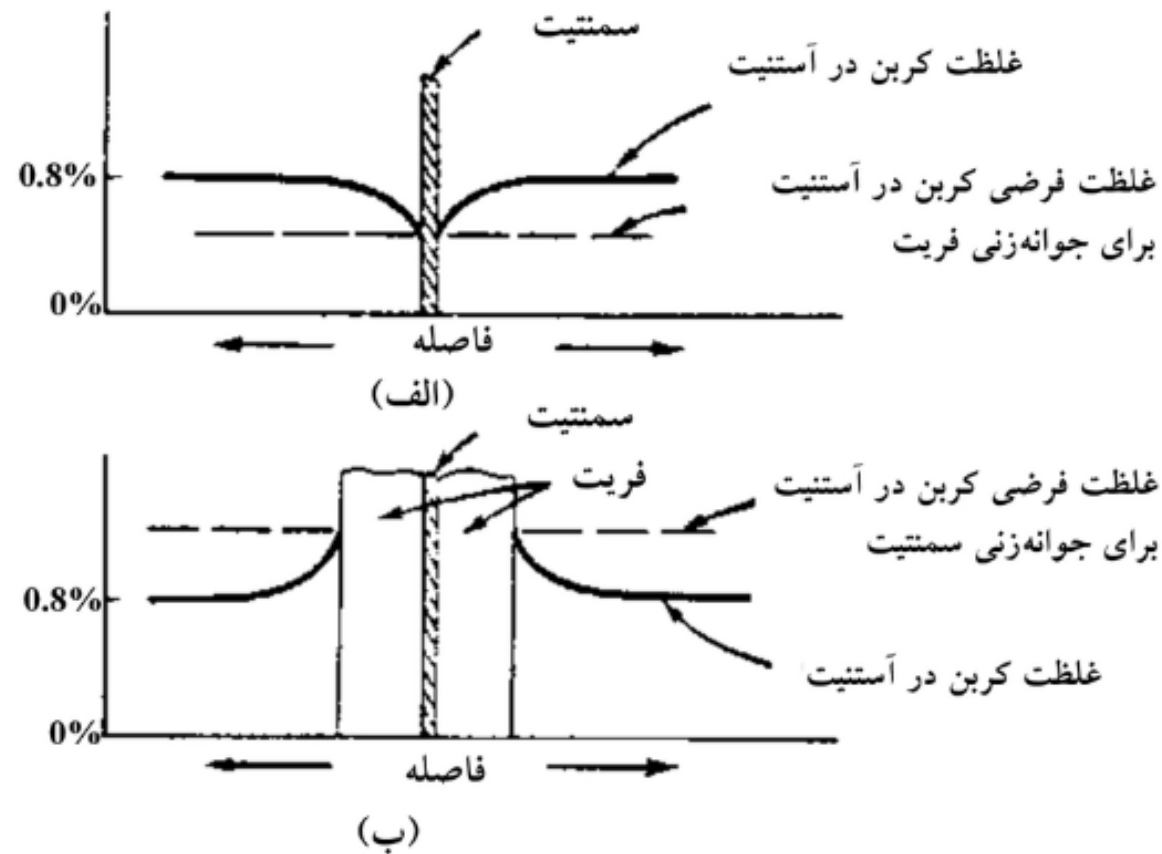
د) جوانه جدید سمنتیت با جهت رشد متفاوت که در فصل مشترک دسته پرلیت اولیه و آستنیت به طور مورب جوانه زده است.



ه) دسته جدید پرلیت که به دنبال دسته پرلیت اولیه رشد کرده است.

شکل ۲-۴ شمایی از جوانه‌زنی و رشد پرلیت [۹].

رشد دسته‌های پرلیت، نه تنها با جوانه‌زنی لایه‌های جدید در مجاور لایه‌های قبلی، بلکه توسط رشد طولی لایه‌های موجود نیز انجام می‌شود.



شکل ۲-۵ شمایی از رشد لایه‌های سمتیت و فریت و توزیع کربن در آستنیت [۹].

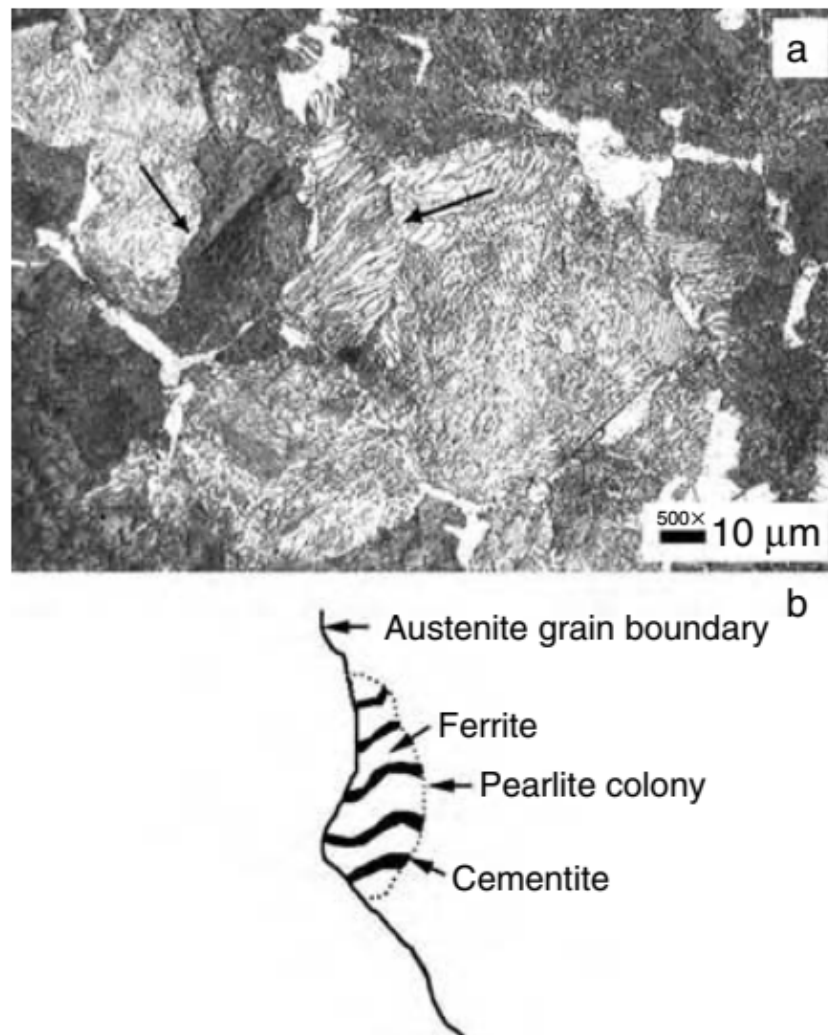


FIGURE 2.8 (a) A typical optical microstructure of a pearlite in an Fe-C-Mn steel. Several distinct colonies are marked with arrows. (b) Schematic illustration of pearlite colony growth.

ساختار بدست آمده به **کره پرلیت (Pearlite nodule)** موسوم است.

شکل ۲-۶ مقاطع دایره‌ای شکل کره‌های پرلیت مربوط به یک فولاد یوکتوئیدی که به‌طور جزئی به پرلیت تبدیل شده است را نشان می‌دهد.

در اینجا لایه‌های پرلیت بسیار ریز و به یکدیگر نزدیک هستند و به‌طور کل سیاه رنگ ظاهر شده‌اند. بقیه ساختار مارتنزیت است.

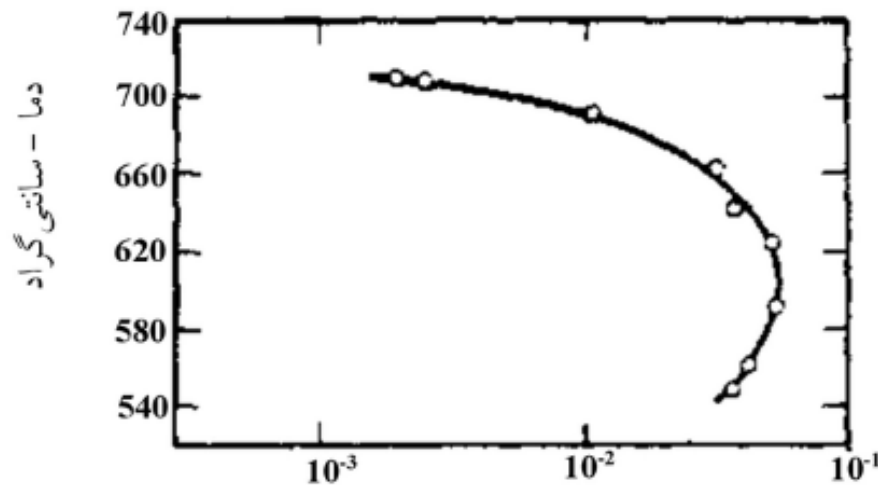


شکل ۲-۶ سطح مقطع کره‌های پرلیت (سیاه‌رنگ) در فولاد یوکتوئیدی. زمینه، آستنیت تبدیل نشده به پرلیت است که در اثر سریع سرد شدن به مارتنزیت تبدیل شده است. بزرگ‌نمایی $250\times$ [۱].

* اثر دما بر دگرگونی پرلیتی

طبق شکل ۷-۲ در دماهایی درست زیر دمای A_1 ، با کاهش دما نرخ رشد پرلیت به سرعت افزایش می‌یابد و در ۶۰۰ درجه سانتی گراد به بیشترین مقدار خود می‌رسد و در دماهای پایین‌تر، دوباره کاهش می‌یابد.

نرخ تشکیل پرلیت، تحت اثر چند عامل تغییر می‌کند. شاید مهم‌ترین آنها آرایش دوباره یا جابه‌جایی مقدار زیادی کربن برای انجام دگرگونی آستنیت به فریت کم‌کربن و سمیتیت پرکربن باشد. بر اساس رابطه ۱-۲، جابه‌جایی یا نفوذ کربن که توسط ضریب نفوذ آن در آستنیت مشخص می‌شود، بستگی به دما دارد.



$$D_C^\gamma = 0.12 \exp(-32000/RT)$$

نرخ رشد - میلی متر بر ثانیه

در این رابطه، D_C^{γ} ، متوسط ضریب نفوذ کربن در آستنیت (cm^2/s)، R ، ثابت گازها ($1/98 \text{ Cal/g.mol/K}$) و T ، دمای مطلق ($^{\circ}\text{C}+273$) است. رابطه بالا نشان می‌دهد که ضریب نفوذ کربن در آستنیت، با کاهش دما به صورت نمایی کاهش می‌یابد. بنابراین، کاهش دما به طور چشمگیری نفوذ را کاهش می‌دهد. در حقیقت، چنین به نظر می‌رسد که ارتباط نفوذ و دما، با نتایج به دست آمده در شکل ۲-۷ دوگانگی دارد. این دوگانگی ظاهری، با توجه به اثر دمای تشکیل پرلیت روی فاصله بین لایه‌ای آن، قابل توجیه است. معادله‌های زیادی برای نشان دادن ارتباط بین مقدار تحت تبرید^۱ و فاصله بین لایه‌ای در پرلیت ارائه شده‌اند. یکی از آنها که بیشترین نزدیکی را با بحث بالا دارد، رابطه‌ای است که توسط زنر^۲ و هیلارت^۳ ارائه شده است و به صورت زیر است:

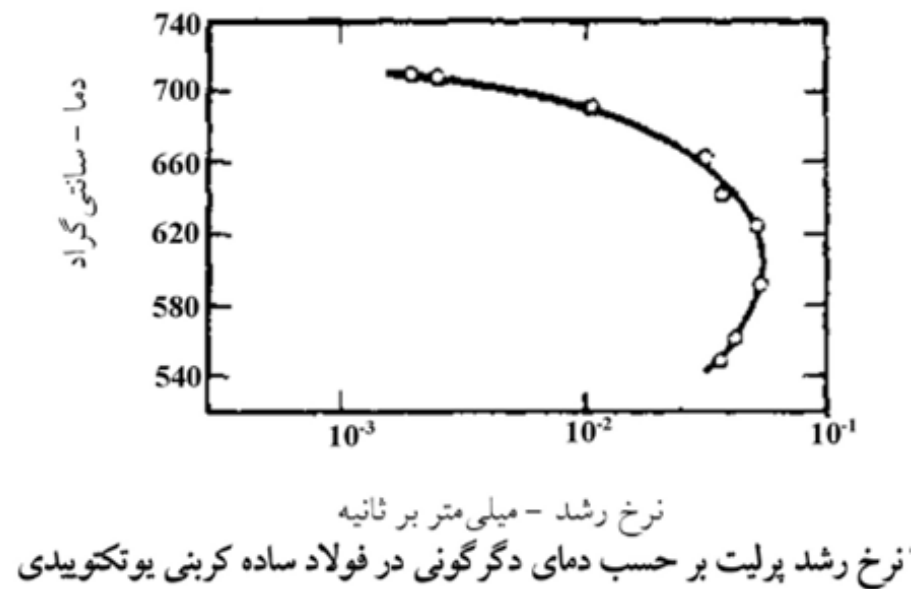
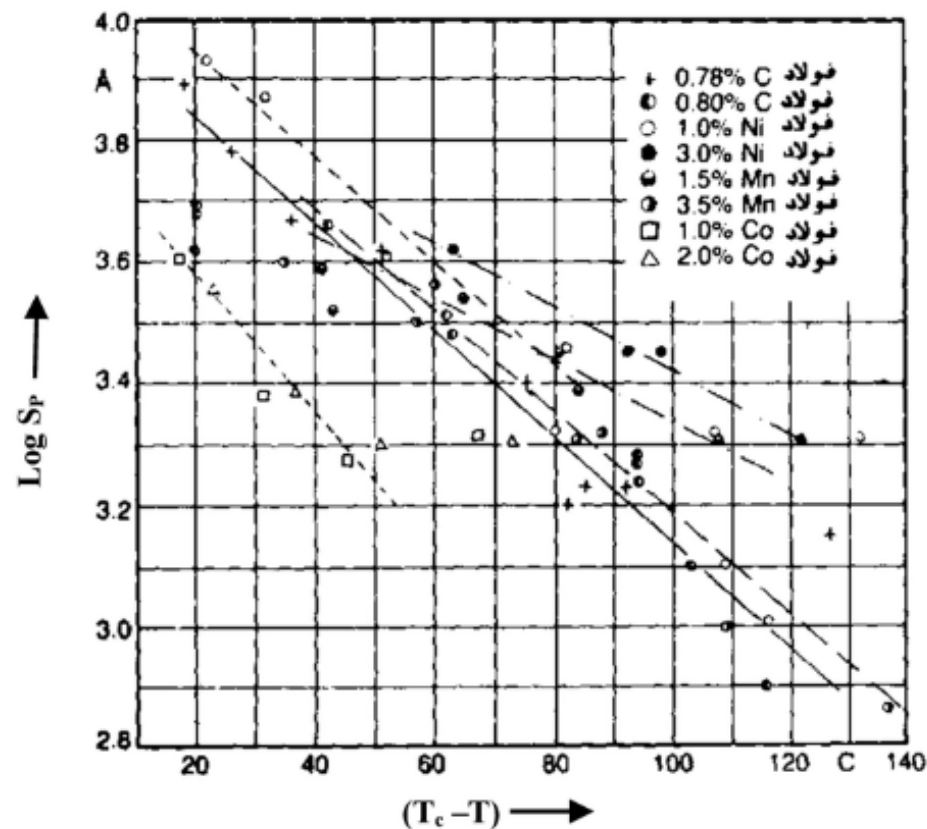
$$S_p = \frac{4\sigma T_E}{\Delta H_V \Delta T}$$

در این رابطه، S_p ، فاصله بین لایه‌ای پرلیت است که از مجموع ضخامت یک لایه فریت و یک لایه سمنتیت تشکیل شده است، σ ، انرژی فصل مشترک فریت - سمنتیت در واحد سطح، T_E ، دمای تعادلی دگرگونی تشکیل پرلیت (Ae_1 برای فولادهای ساده کربنی)، ΔH_V ، تفاوت بین آنتالپی آستنیت و مخلوط فریت و سمنتیت برای واحد حجم و ΔT ، مقدار تحت تبرید ($T_c - T$) است.

طبق شکل ۲-۸، برای توجیه ارتباط بین نرخ رشد پرلیت و دمای دگرگونی باید دو نکته را در نظر گرفت، یکی نفوذ کربن در آستنیت و دیگری فاصله بین لایه‌ای پرلیت.

در ابتدا هرچه دمای تشکیل پرلیت از دمای Ae_1 کم‌تر می‌شود، نفوذ کاهش می‌یابد. ولی از آنجایی که فاصله بین لایه‌ای نیز کم‌تر می‌شود، پس مسافتی که اتم‌های کربن باید نفوذ کنند کم‌تر می‌شود، و بنابراین نرخ رشد پرلیت افزایش می‌یابد.

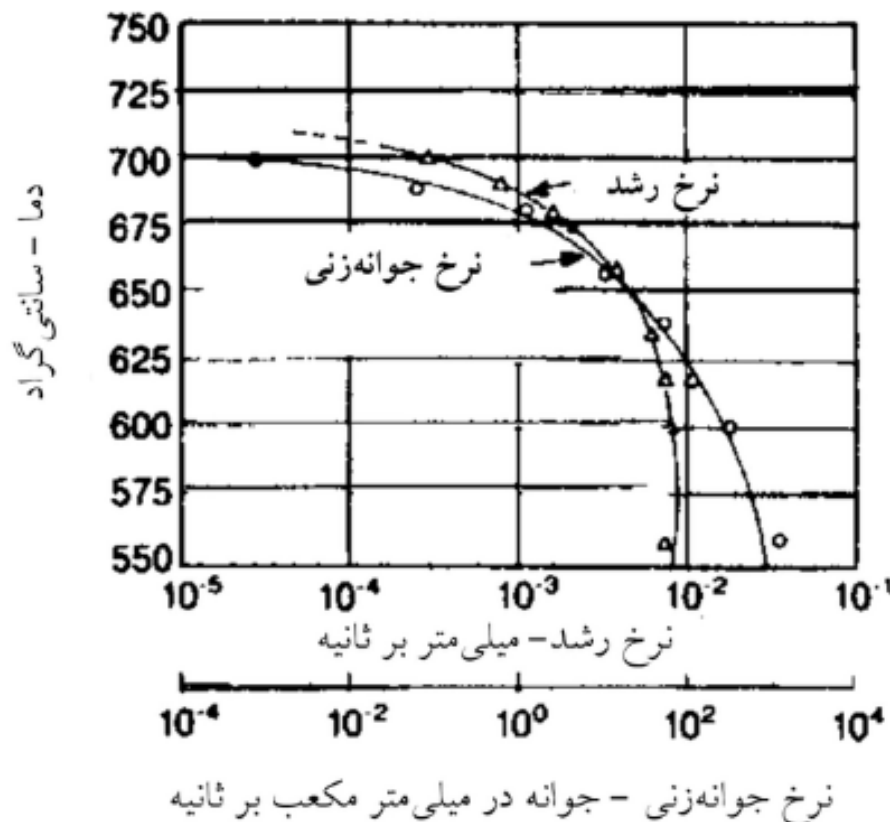
از طرف دیگر نفوذ بشدت به دما وابسته است، و در دماهای پایین‌تر بسیار کم است، پس نرخ رشد پرلیت در دماهای یادشده کاهش می‌یابد. در دماهای بالا به علت محدود بودن تعداد جوانه‌های پرلیت و در نتیجه زیاد بودن فاصله بین لایه‌ای، نرخ رشد پرلیت بسیار کم خواهد بود.



نرخ جوانه‌زنی عبارت است از تعداد جوانه‌های تشکیل شده در واحد حجم در ثانیه، که تابع زمان و دما می‌باشد.

در شکل ۹-۲ نرخ رشد بصورت تابعی از دما نشان داده شده است.

اگر دما درست زیر دمای Ae_1 باشد، نرخ جوانه‌زنی بسیار کم خواهد بود. درحالی که نرخ رشد یک مقدار مشخص است. پس فقط چند جوانه پرلیت تشکیل می‌شود و جوانه‌ها رشد می‌کنند و به کره‌های بزرگ پرلیت تبدیل می‌شوند. رشد این کره‌ها می‌تواند از مرزدانه‌ها فراتر رود.



با کاهش دما، نرخ جوانه‌زنی بسیار بیش‌تر از نرخ رشد، افزایش می‌یابد.

از آنجایی که با کاهش دما، هر دو نرخ جوانه‌زنی و رشد پرلیت افزایش می‌یابند، می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش دما نرخ دگرگونی آستنیت به پرلیت هم افزایش می‌یابد.

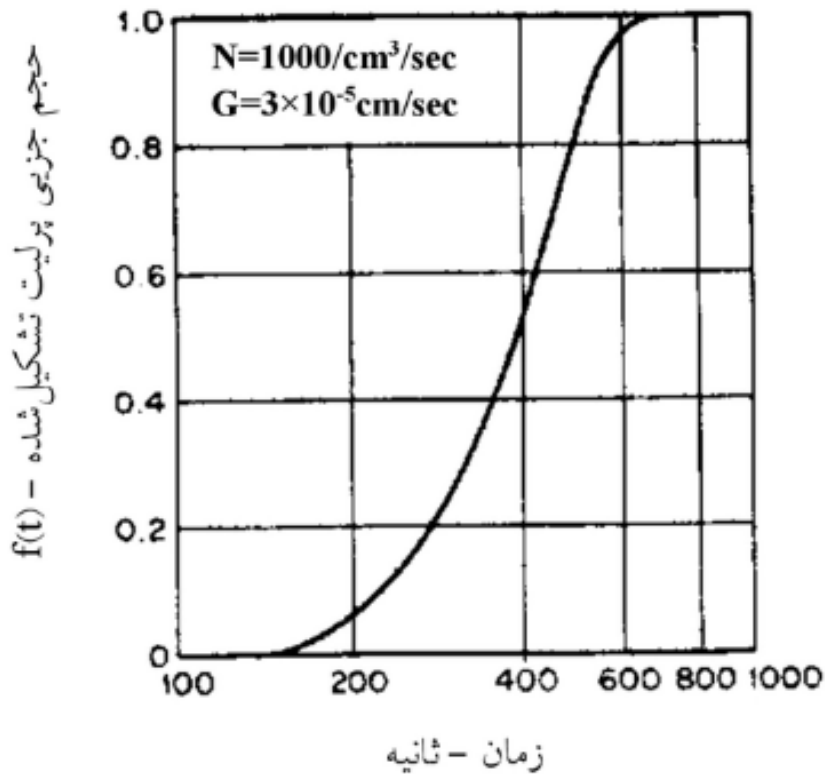
شکل ۹-۲ تغییرهای نرخ‌های جوانه‌زنی (N) و رشد (G) بر حسب دما در یک فولاد

یوتکتویدی با ترکیب شیمیایی ۰.۷۸C - ۰.۶۳Mn و عدد اندازه دانه $\frac{1}{4}$ [۹].

در یک دمای ثابت، مقدار آستنیت تبدیل شده به پرلیت از رابطه مهل و جانسون بدست می آید:

$$f(t) = 1 - \exp\left[\frac{-NG^3t^4}{3}\right]$$

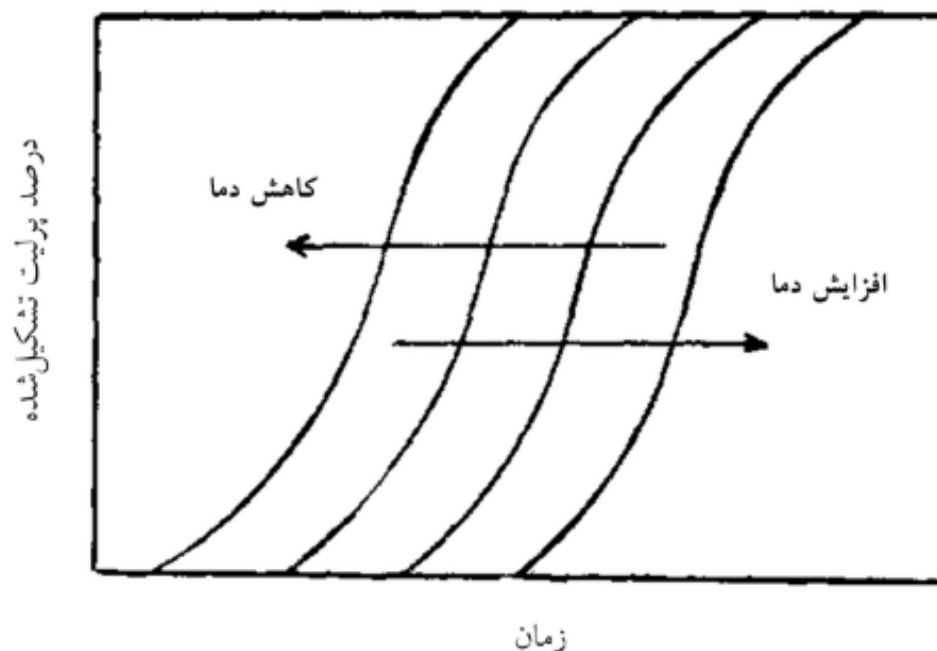
در این رابطه، $f(t)$ حجم جزیی پرلیت تشکیل شده در یک زمان مشخص t و در یک دمای ثابت T است. N و G به ترتیب، نرخ جوانه زنی و نرخ رشد کره های پرلیت به داخل آستنیت در دمای دگرگونی (T) هستند که از شکل ۲-۹ به دست می آیند.



طبق شکل ۲-۱۰ نرخ اولیه تشکیل پرلیت بسیار کم است. باگذشت زمان جوانه های بیش تری بوجود می آیند، و در نتیجه نرخ دگرگونی نیز افزایش می یابد. در نهایت از آنجایی که کره های پرلیت با یکدیگر برخورد می کنند، نرخ تغییر فاز دوباره کاهش خواهد یافت.

شکل ۲-۱۰ حجم جزیی پرلیت تشکیل شده بر حسب زمان. این منحنی با استفاده از رابطه ۲-۳ رسم شده است [۹].

با رسم منحنی شکل ۲-۱۰ در دماهای مختلف، دیده می‌شود که با کاهش دما، منحنی به سمت چپ و با افزایش دما به سمت راست جابجا می‌شود. به عبارتی، با کاهش دما، زمان لازم برای شروع و پایان تشکیل پرلیت، کاهش می‌یابد و با افزایش دما این زمان‌ها افزایش می‌یابد. این منحنی‌ها برای محدوده ۶۰۰ تا ۷۲۳ درجه سانتیگراد هستند. در دماهای کمتر از ۶۰۰ درجه، جابجایی منحنی‌ها خلاف شکل زیر می‌شود.

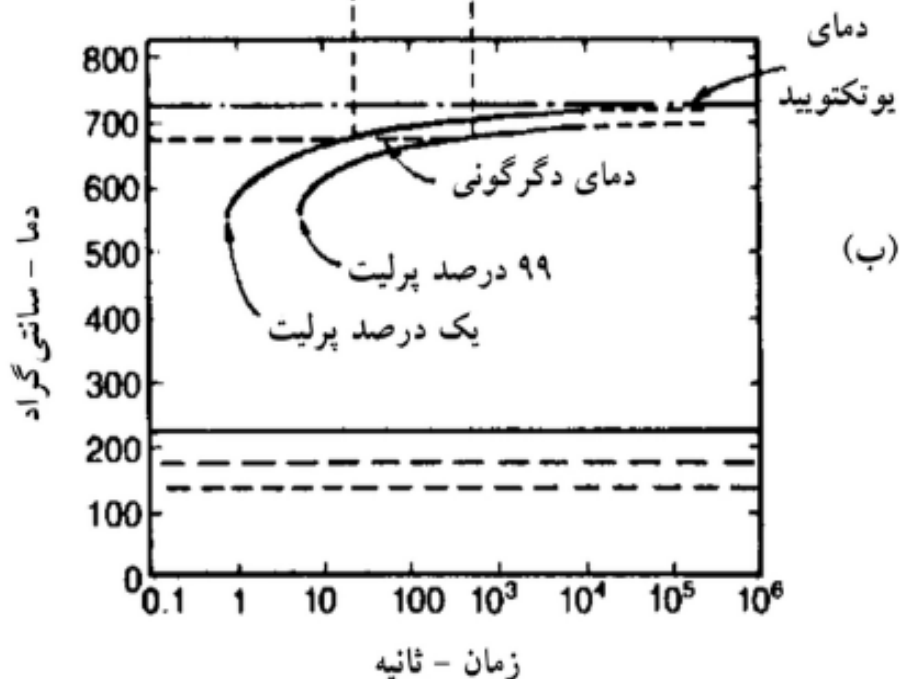
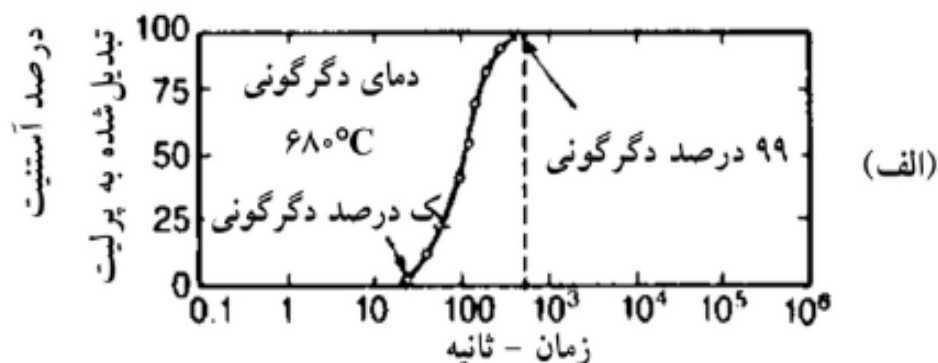


شکل ۲-۱۱ اثر دمای دگرگونی آستنیت به پرلیت روی زمان شروع و پایان دگرگونی در دماهایی بیشتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد [نویسنده].

(با فرض خطا حدود یک درصد)

اگر نقاط شروع و پایان این دگرگونی در دماهای مختلف روی محورهای مختصات دما-زمان، منتقل و به یکدیگر وصل شوند، نمودار دما-زمان-دگرگونی (TTT) به دست می‌آید.

Time-Temperature-Transformation



شکل ۲-۱۲ چگونگی رسم منحنی‌های دما - زمان - دگرگونی (TTT). (الف) منحنی دگرگونی هم‌دمای

تشکیل پرلیت، (ب) نمودار دما - زمان - دگرگونی که از منحنی‌های دگرگونی هم‌دمای به دست می‌آید [۹].

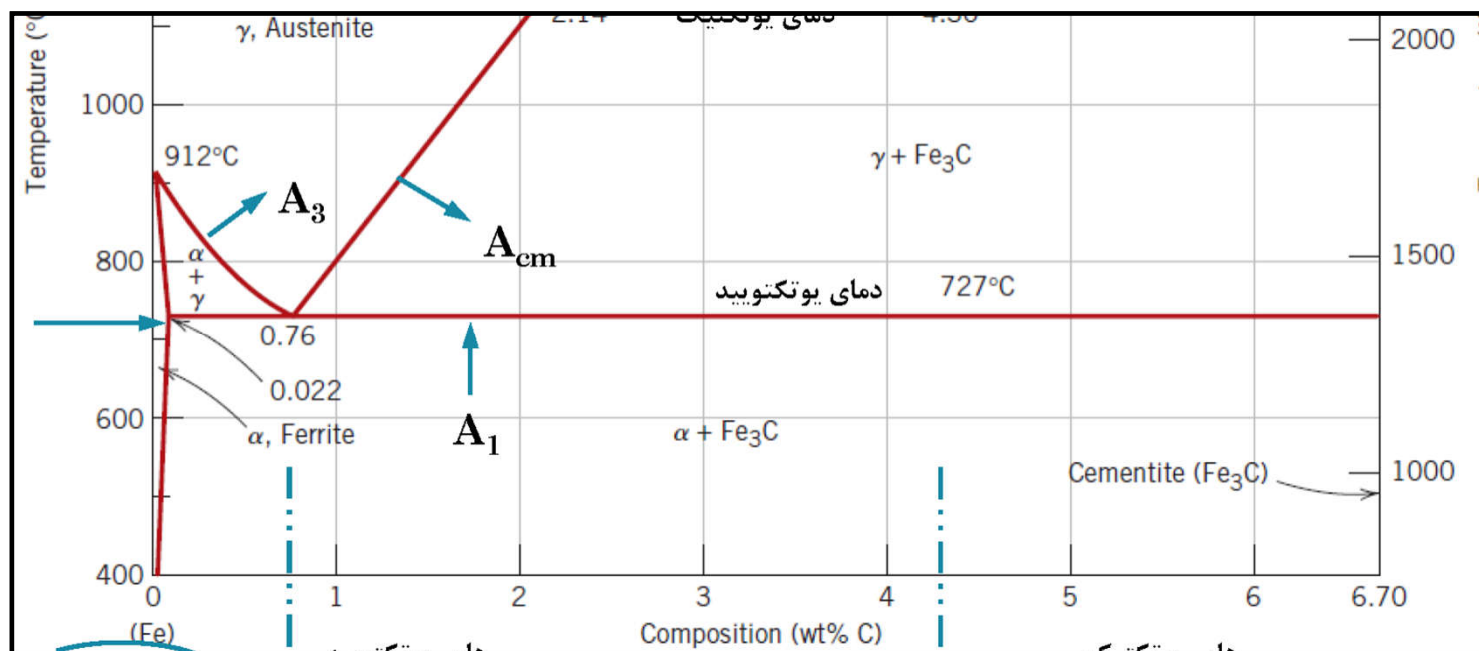
* فازهای پرویوتکتوئید

□ در فولادهایی که کربن آن‌ها کم‌تر از یوتکتوئید باشد (هیپو یوتکتوئید، Hypoeutectoid) فریت بین خطوط A_3 و A_1 تشکیل می‌شود.

□ در فولادهایی که کربن آن‌ها بیش‌تر از یوتکتوئید است (هایپرو یوتکتوئید، Hypereutectoid) سمنتیت بین خطوط A_{cm} و A_1 تشکیل می‌شود.

□ فریت و سمنتیت که پیش از دگرگونی آستنیت به پرلیت تشکیل می‌شوند، به فریت پرویوتکتوئید (Proeutectoid) و سمنتیت پرویوتکتوئید موسوم‌اند.

□ این فازهای پرویوتکتوئید از نظر شبکه بلوری و ترکیب شیمیایی، مشابه با فریت و سمنتیت پرلیتی‌اند، ولی توزیع آن‌ها در ریزساختار متفاوت از آرایش لایه‌ای فریت و سمنتیت موجود در پرلیت است.

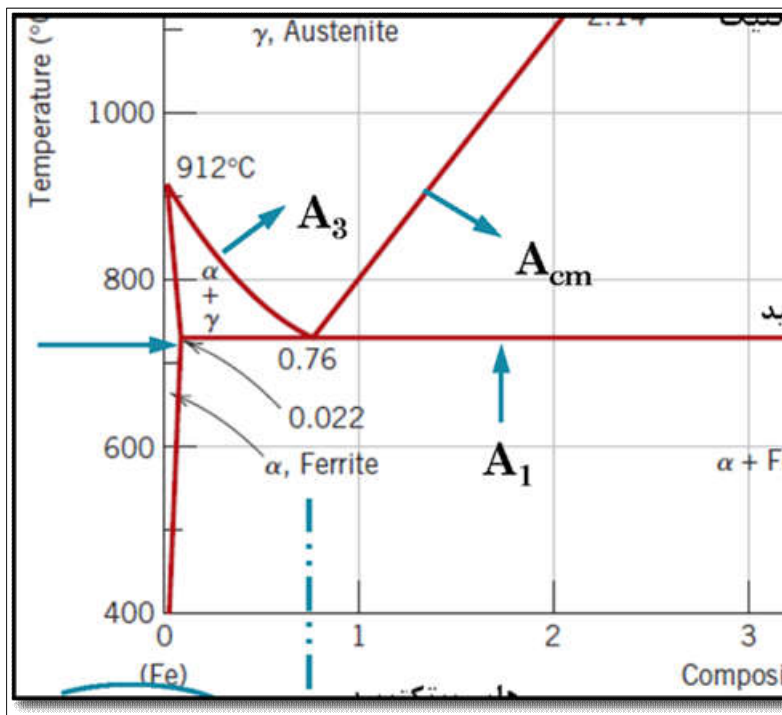




نواحی سفید رنگ در شکل به طور کلی متمایز و جدا شده از ساختار لایه‌ای پرلیت، همان فریت پرویوتکتوئید هستند.

با استفاده از خط دمای ثابت و قانون اهرم می‌توان نشان داد که برای هر فولاد هیپویوتکتوئید مانند Fe-0.4C، با کاهش دما در ناحیه دوفازی آستنیت-فریت، درصد فریت تشکیل شده و درصد کربن آستنیت باقی‌مانده افزایش می‌یابد.

شکل ۲-۱۳ فریت پرویوتکتوئید (نواحی سفید رنگ) و پرلیت در فولاد Fe-0.4C که پس از آستیت شدن، در هوا سرد شده است. محلول حکاکی نایتال، بزرگ‌نمایی $\times 500$ [۱].



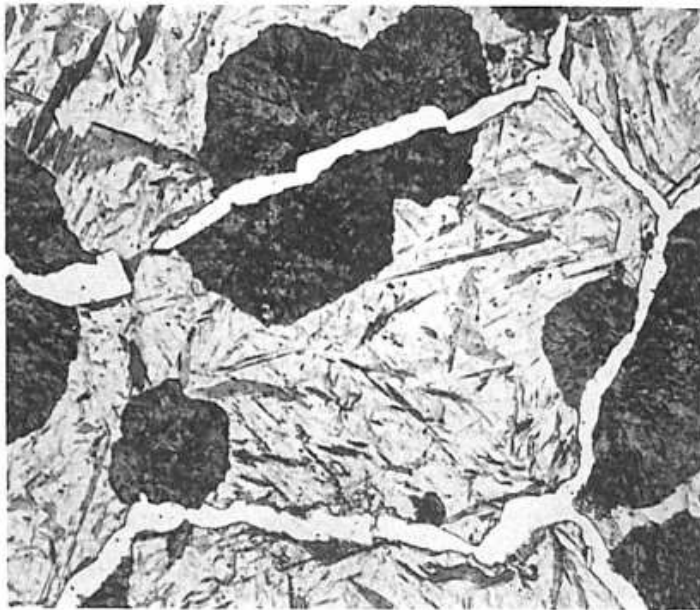
با ادامه سرد شدن، آن مقدار از آستنیت که در کنار فریت مانده است، در حدود دمای A_1 به پرلیت لایه‌ای تبدیل می‌شود. درصد فریت پرویوتکتوئید در آلیاژ Fe-0.4C که از ناحیه آستنیت به آرامی سرد شده باشد، برابر است با:

$$\text{درصد وزنی فریت پرویوتکتوئید} = \frac{0.77 - 0.4}{0.77 - 0.02} \times 100 = 49$$

□ در مواردی که نیاز به شکل‌پذیری خوب باشد، مانند بعضی قسمتهای اتومبیل، از فولادهایی استفاده می‌شود که ریزساختار آنها بیش‌تر **فریتی** باشد.

□ در مواردی که مقاومت به سایش و سختی بیش‌ترین اهمیت را داشته باشد، مانند خطوط راه آهن، از فولادهایی استفاده می‌شود که ریزساختار آنها بیش‌تر **پرلیتی** باشد [فازهای تعادلی].

□ فولادهایی که درصد کربن آنها بیش از کربن یوکتوئید باشد، اگر در دمایی بین A_1 و A_{cm} نگه‌داشته شوند، در ریزساختار بدست آمده، فاز سمنتیت پرویوکتوئید به وجود می‌آید. با تشکیل سمنتیت از آستنیت با $6.67\%C$ ، درصد کربن آستنیت باقی‌مانده کاهش می‌یابد و در دمای A_1 که آستنیت باقیمانده در جوار سمنتیت دارای درصد کربنی درست برابر مقدار کربن لازم برای دگرگونی یوکتوئید می‌شود، مابقی آستنیت به پرلیت تبدیل می‌شود.



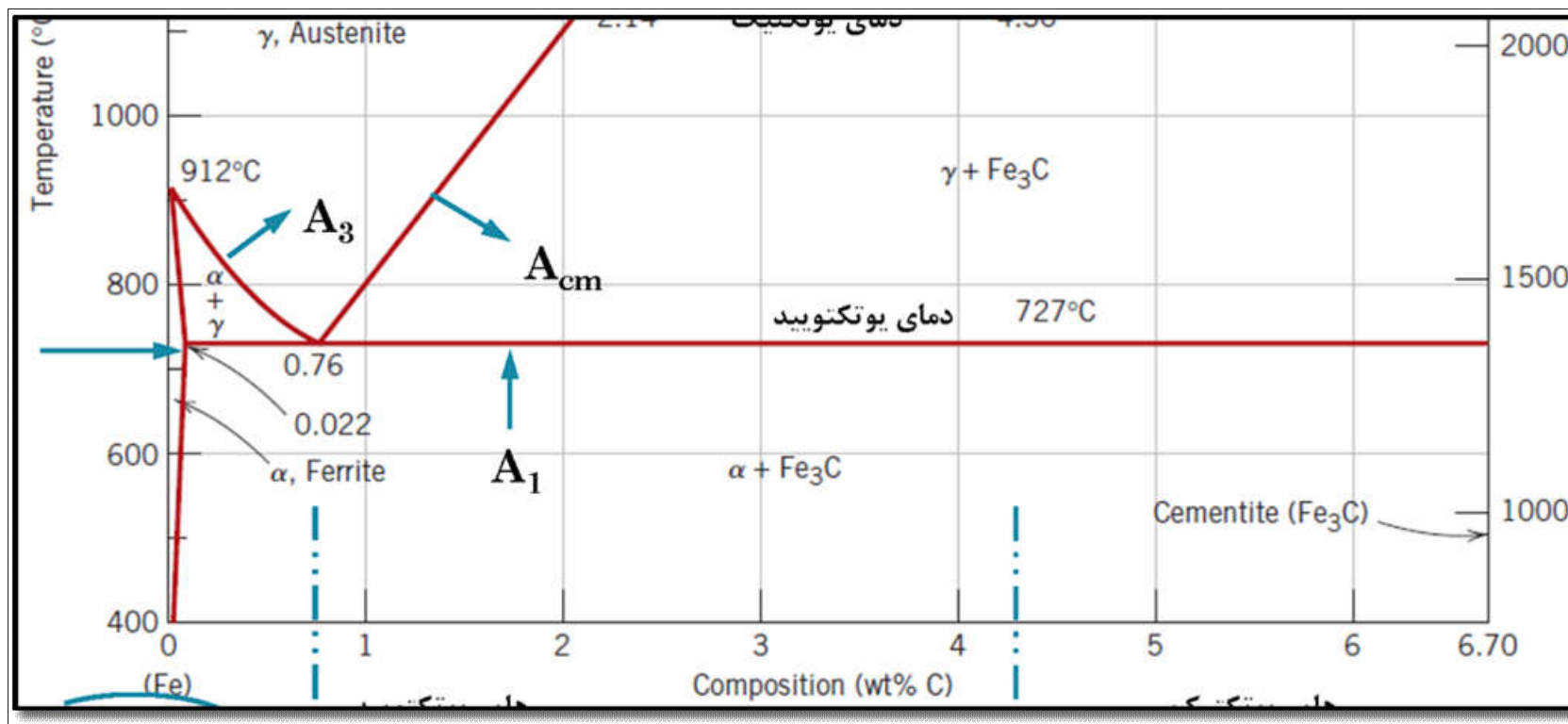
در شکل ۲-۱۴ تعدادی کره پرلیتی دیده می‌شود، که همان نواحی سیاه رنگ و دایره‌ای شکل هستند. بقیه ریزساختار مارتنزیت است.

شکل ۲-۱۴ سمنتیت پرویوکتوئید (شبکه پیوسته سفیدرنگ) تشکیل شده در مرز دانه‌های آستنیت در فولاد $Fe - 1/22C$ که به مدت ۳۰ دقیقه در 780° درجه سانتی‌گراد نگه‌داشته شده است. نواحی سیاه‌رنگ، کره‌های پرلیت و بقیه ساختار، مارتنزیت و آستنیت باقیمانده هستند. محلول حکاکی نایتال، بزرگ‌نمایی $600\times$ [۱].

با استفاده از قانون اهرم در ناحیه دوفازی آستنیت-سمنتیت و در دمایی قبل از ۷۲۷ درجه سانتی‌گراد می‌توان درصد سمنتیت پرویوتکتوئید را برای فولادی با ۱.۲ درصد کربن محاسبه کرد:

$$\text{سمنتیت پرویوتکتوئید در فولاد } ۱.۲\% \text{C-Fe} = \frac{۱/۲ - ۰/۷۷}{۶/۶۷ - ۰/۷۷} \times ۱۰۰ = ۷/۳$$

وجود یک شبکه پیوسته سمنتیت پرویوتکتوئید در مرزدانه‌های آستنیت اولیه، شکل‌پذیری و مقاومت به ضربه فولادهای پرکربن را به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد. عملیات حرارتی‌های اصلاحی نرماله کردن و یا کروی کردن برای اصلاح و یا حذف شبکه پیوسته سمنتیت انجام می‌شود.



تشکیل فازهای پرویوتکتوئید

فازهای پرویوتکتوئید به دو صورت در فولادها ظاهر می‌شوند:

۱. دانه‌های فریت در فولادهای هیپویوتکتوئید و یا شبکه پیوسته سمنتیت در فولادهای هایپریوتکتوئید است که در امتداد مرزدانه‌های آستنیت جوانه می‌زنند و رشد می‌کنند. شکل این دانه‌های فریت و سمنتیت، تابع موانعی که سر راه رشد آنها وجود دارد، می‌باشد لذا شکل واقعی خود را ندارند. این بلورها به دگرریخت‌های (Allotrimorphs) مرز دانه‌ای موسوم‌اند. **(در شرایط سرد کردن نزدیک به حالت تعادلی)**



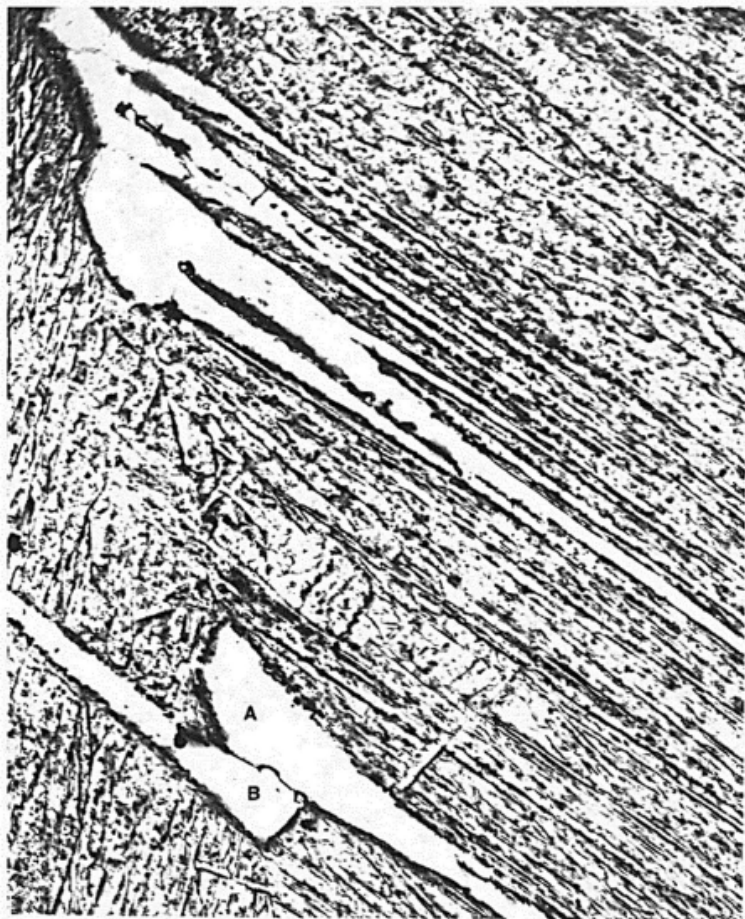
۲. دانه‌های سوزنی و یا صفحه‌ای شکل که از مرزدانه‌های آستنیت اولیه شروع می‌شوند و به داخل دانه‌ها رشد می‌کنند. دانه‌های صفحه‌ای و یا سوزنی شکل از این نوع، به صفحه‌ها و یا ساختار ویدمن‌اشتاتن (Widmanstätten) موسوم‌اند. **(در شرایط سرد شدن سریعتر از حالت تعادلی و یا تحت تبرید زیاد)**

شکل ۲-۱۵ ریزساختار فریت پرویوتکتوئید در قالب صفحه‌های ویدمن‌اشتاتن در فولاد ۰.۴٪C-Fe. محلول حکاکی نایتال، بزرگ‌نمایی $\times 2000$ [۱].

فازهای پرویوتکتوئید از نوع اول، در شرایطی نزدیک به شرایط تعادلی تشکیل می‌شوند. به عبارت دیگر، این فازها هنگامی تشکیل می‌گردند که فولاد برای مدت زمان طولانی در ناحیه دو فازی نگهداری شود و یا این که به آرامی از این بازه دمایی عبور کند و سرد شود.

برخلاف فازهای پرویوتکتوئید نوع اول که در شرایط تعادلی بوجود می‌آیند، صفحه‌های ویدمن‌اشتن هنگامی بوجود می‌آیند که فولاد، سریع‌تر از حالت تعادلی سرد شود.

شکل ۲-۱۶ ساختاری با درصد بالا از مارتنزیت را نشان می‌دهد. گرچه هدف از سریع سرد کردن، بدست آوردن صددرصد مارتنزیت است، ولی قبل از تشکیل مارتنزیت، تعدادی دانه فریت پرویوتکتوئید در مرزدانه‌های آستنیت جوانه می‌زند. دانه‌های A و B دارای جهت‌های بلوری مختلفی هستند. از آنجایی که دما خیلی سریع کاهش یافته است، از نفوذ جلوگیری شده است.



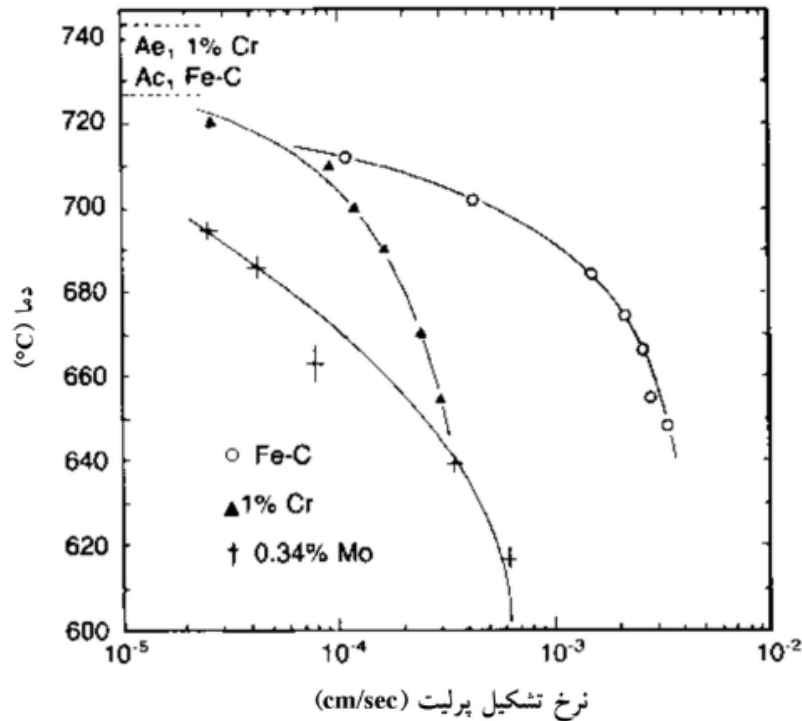
صفحه‌های ویدمن‌اشتاتن، موازی بلورهای ریز مارتنزیت هستند و همچنین به داخل زمینه مارتنزیتی نفوذ کرده‌اند. بنابراین تشکیل فریت ویدمن‌اشتاتن باید توسط سازوکار برشی باشد.

به طور کلی تشکیل فریت مستلزم نفوذ کربن است و دگرگونی مارتنزیتی که در دمایی به مراتب پایین تر از دمای تشکیل فریت تشکیل می‌شود، برشی است و کربن را در ساختار مارتنزیت محبوس می‌کند

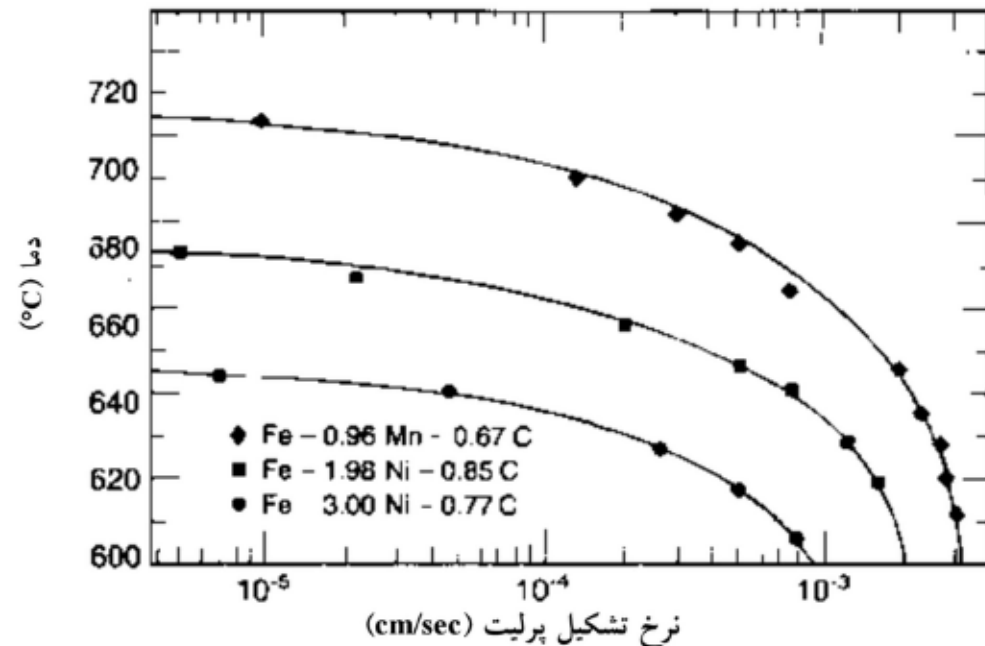
شکل ۲-۱۶ صفحه‌های ویدمن‌اشتاتن در فولاد سریع‌سرد شده ۰.۲٪ C-Fe. جهت‌های بلوری دانه‌های A و B که توسط مرز دانه از یکدیگر جدا شده‌اند، طوری هستند که باعث رشد آنها در دو دانه مختلف آستنیت شده‌اند. بزرگ‌نمایی ۷۵۰۰× [۱].

تشکیل پرلیت در فولادهای دارای عناصر آلیاژی

□ تمامی عناصر آلیاژی، نرخ رشد پرلیت را کاهش می‌دهند که در مواردی که دنبال ساختارهای غیرنفوذی هستیم (مارتنزیت)، مفید است.



شکل ۲-۱۷ نرخ تشکیل پرلیت بر حسب تابعی از دما برای آلیاژ ۰.۸۱٪ C/Fe و فولاد یونکتوئید دارای کروم و مولیبدن [۱].



شکل ۲-۱۸ نرخ تشکیل پرلیت بر حسب تابعی از دما برای فولادهای یونکتوئیدی دارای نیکل و منگنز [۱].