

فصل دوم

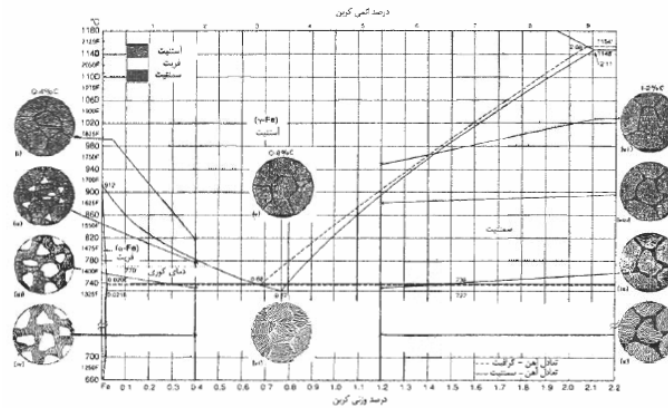
فازها و ساختارهای تعادلی

فصل دوم

1

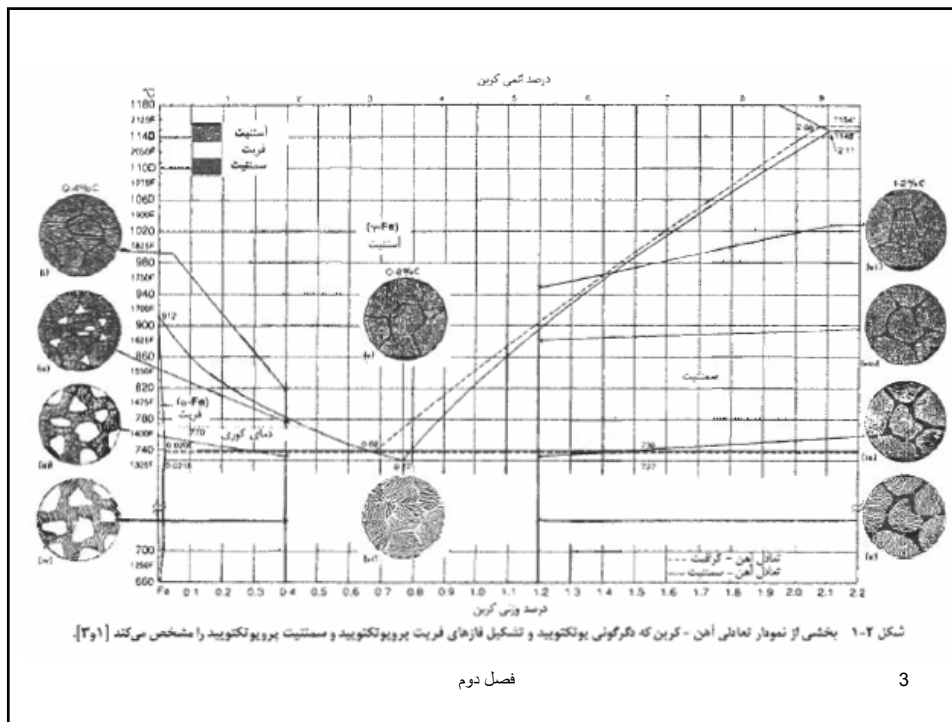
دگرگونی یونکتویدی

نمودار تعادلی آهن - کربن که در فصل اول معرفی شد، پایه و اساس مطالعه دگرگونی فازها در فولادها را تشکیل می‌دهد. شکل ۱-۲ قسمتی از نمودار آهن - کربن نشان داده شده در شکل ۲-۱ را با مقیاس بزرگتر نشان می‌دهد. در این شکل ناحیه مربوط به دگرگونی آستنیت و میکروساختارهای حاصل از آهسته سرد شدن آن نشان داده شده‌اند.



شکل ۱-۲ بخشی از نمودار تعادلی آهن - کربن که دگرگونی یونکتویدی و تشکیل فازهای فریت پرویونکتویدی و سمنتیت پرویونکتویدی را مشخص می‌کند [۳۰]

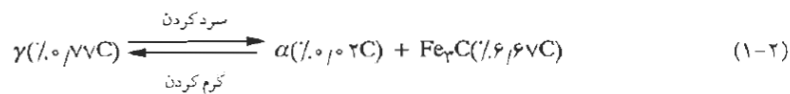
2

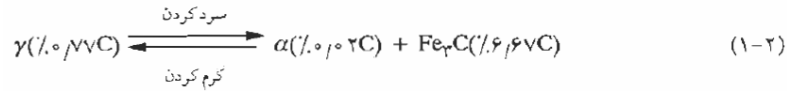


ابتدا آلیاژ $0.7\% \text{C} - \text{Fe}$ که در تمام دماهای بالای A_1 (درجه سانتیگراد) کاملاً به صورت آستنیت است را در نظر بگیرید. اگر این آلیاژ را برای مدت زمان طولانی در دمای یاد شده نگه داشته و یا اینکه با نرخ بسیار آهسته آن را سرد کرده از گسترده دمایی مزبور عبور دهیم (تحت شرایط کاملاً تعادلی)، بر طبق نمودار تعادلی شکل ۱-۲ آستنیت باید به مجموعه‌ای از فریت و سمنتیت تبدیل شود. در متالورژی، دگرگونی‌هایی که یک فاز جامد به دو فاز جامد کاملاً متفاوت تبدیل می‌شوند به دگرگونی‌های یونکتوئیدی موسوم‌اند.

در نمودار تعادلی آهن - کربن،

دگرگونی یونکتوئیدی را می‌توان به صورت زیر نوشت.

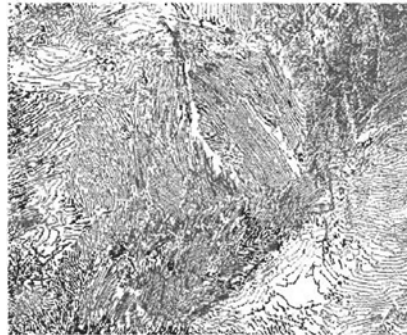




رابطه بالا نشان می‌دهد که فازهایی که در تحول یوکتوئید شرکت دارند، دارای ترکیب شیمیایی ثابت‌اند و برحسب اینکه از فولاد حرارت گرفته و یا بدان حرارت داده شود، دگرگونی می‌تواند در جهت تجزیه آستنیت و تشکیل فریت و سمنتیت و یا برعکس انجام گیرد. از جنبه نظری دگرگونی یوکتوئیدی در فولادهای کربنی ساده باید به طور همدمای^۱ (در دمای ثابت)، در دمای ۷۲۷ درجه سانتیگراد انجام شود. لیکن شرایط تعادل به ندرت وجود دارد و در عمل دگرگونی یوکتوئیدی معمولاً در زیر خط A_۱ در یک گستره وسیعی از دما انجام می‌شود.

ساختار پرلیت

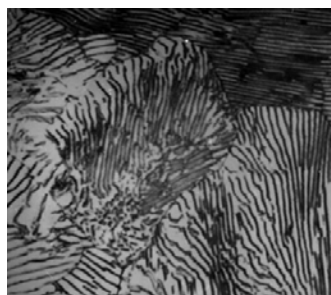
محصول دگرگونی یوکتوئید در فولادها، میکروساختار منحصر به فردی موسوم به پرلیت است. پرلیت از لایه‌های متناوب فریت و سمنتیت تشکیل شده و مشابه اثر انگشت بر روی کاغذ است (شکل ۱-۲ و ۲-۲). به بیان دیگر، ساختار پرلیت توسط دسته‌هایی^۲ از لایه‌های متناوب فریت و سمنتیت با فواصل و جهات مختلف مشخص می‌شود.



شکل ۲-۲ میکروساختار پرلیت مربوط به آلیاژ ۰.۷۵C-Fe که پس از آستنیت شدن در کوره سرد شده است. محلول حکاکی، پیکرال، بزرگمایی، ۵۰۰x [۱].

یکسان نبودن فواصل

لایه‌های سمنتیت در نواحی مختلف تا حدی به زاویه برخورد لایه‌ها با سطح پولیش شده نمونه مربوط می‌شود. اگر فرض شود که تمامی پرلیت در یک دمای ثابت تشکیل شده است، فواصل بین تمام لایه‌های پرلیت یکسان و برابر است. دسته‌هایی از پرلیت که لایه‌های تشکیل دهنده آن عمود بر سطح پولیش باشد فاصله واقعی و یا نزدیکترین فاصله فریت - سمنتیت به فاصله واقعی را دارند. از طرف دیگر لایه‌هایی که زاویه برخورد آنها با سطح پولیش شده کمتر از ۹۰ درجه باشد، نسبت به فاصله واقعی بین لایه‌ای، دارای فواصل بیشتری‌اند. از طرف دیگر یکسان نبودن فواصل بین لایه‌ای می‌تواند به این دلیل باشد که پرلیت معمولاً در یک گستره وسیعی از دما تشکیل می‌شود و نه در دمای ثابت.



7

علت انتخاب نام پرلیت مربوط می‌شود به آرایش منظم لایه‌ای و این حقیقت که اثر خوردگی محلول شیمیایی حکاک‌ی بر فاز فریت نسبت به فاز سمنتیت بسیار شدیدتر است. در هر دسته، لایه‌های منظم و برجسته سمنتیت، نقش شبکه انکسار نور را بازی می‌کنند. بنابراین، در اثر انکسار نور با طول موجهای متفاوت از دسته‌های مختلف، شکلی شبیه به صدف مروارید^۳ به وجود می‌آید. از این رو ساختار یاد شده به پرلیت^۴ موسوم شده است.

زمینه فریتی و لایه‌های سمنتیت هر دو سفیدرنگ و فصل مشترک آن دو به صورت خطوط سیاه رنگ دیده می‌شود.



شکل ۲-۳ پربلیت شامل لایه‌های سمنتیت در زمینه‌ای از فریت. بزرگنمایی $\times 2500$

مقادیر فریت و سمنتیت موجود در پربلیت که در دمای 727°C سانتیگراد تشکیل می‌شود را می‌توان به کمک قانون اهرم حساب کرد. در حقیقت به کمک قانون اهرم، در هر دمایی ترکیب شیمیایی و مقادیر فازهای مختلف موجود در یک ناحیه دوفازی در یک سیستم دوتایی را می‌توان تعیین کرد. با استفاده از قانون

اهرم می‌توان برای آلیاژ $0.77\% \text{C}-\text{Fe}$ که کاملاً به پربلیت تبدیل می‌شود نشان داد:
در دمای پوکتوئید

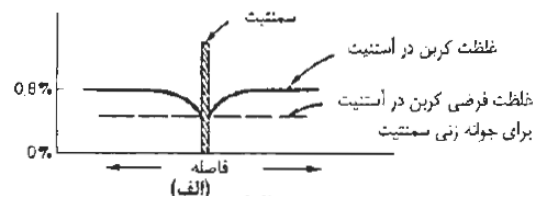
$$\text{درصد وزنی سمنتیت در پربلیت} = \frac{0.77 - 0.02}{6.67 - 0.02} \times 100 = 11.3 \quad (2-2)$$

$$\text{درصد وزنی فریت در پربلیت} = \frac{6.67 - 0.77}{6.67 - 0.02} \times 100 = 88.7 \quad (3-2)$$

بر طبق پیشنهاد مهل^۱، فرض می‌شود که اولین جوانه فعال پرلیت یک لایه بسیار نازک و کوچک سمنتیت باشد که در مرز دانه آستنیت تشکیل شده و به داخل یکی از دانه‌ها رشد می‌کند. همچنان که این صفحه کوچک که در شکل ۲-۴ (الف) نشان داده شده است از ضخامت و طول رشد می‌کند، اتمهای کربن موجود در آستنیت در اطراف خود را جذب می‌نماید. در نتیجه غلظت کربن آستنیت در مجاورت لایه سمنتیت افت کرده و سرانجام یک شیب غلظتی کربن، مانند حالت نشان داده شده در شکل ۲-۵ (الف) به وجود می‌آید.



شکل ۲-۴



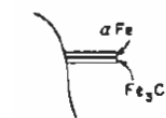
شکل ۲-۵

فصل دوم

13

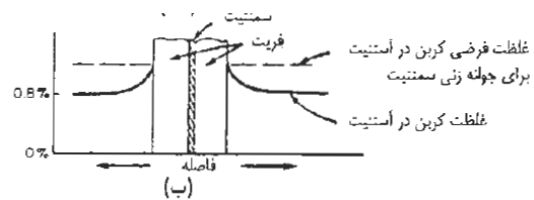
موقعی که درصد کربن در

ناحیه‌ای از آستنیت که در مجاورت سمنتیت است، به یک مقدار تقریباً ثابت و در حدود غلظت کربن در فریت (۰/۰۲ درصد) رسید جوانه‌های فریت به وجود آمده و در امتداد ورقه‌های سمنتیت رشد می‌کنند (شکل ۲-۴ (ب)). از آنجایی که فریت دارای درصد بسیار کمی کربن (۰/۰۲ درصد) است، رشد لایه‌های فریت همراه با افزایش درصد کربن در فصل مشترک فریت - آستنیت است (شکل ۲-۵ (ب)).



ب - لایه سمنتیت کاملاً رشد کرده و فریت جوانه زده است

شکل ۲-۴



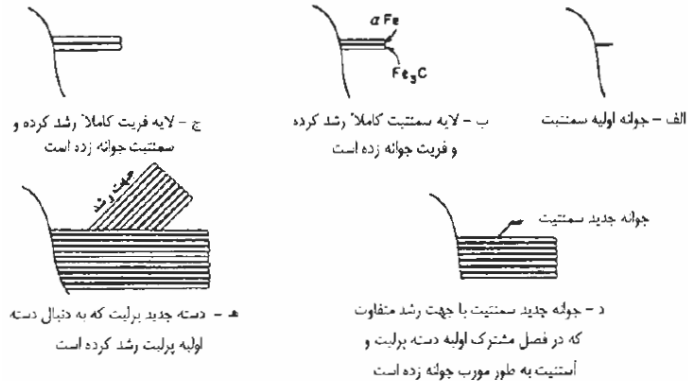
شکل ۲-۵

فصل دوم

14

افزایش کربن در این محلها آتقدر ادامه می‌یابد تا اینکه

جوانه‌های جدید سمنتیت به وجود آید. رشد لایه‌های جدید سمنتیت به نوبه خود منجر به تشکیل لایه‌های جدید فریت می‌شود. با ادامه فرایند یادشده، لایه‌های متناوب مربوط به یک دسته پرلیت تشکیل خواهد شد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲ جوانه‌زنی و رشد پرلیت [۹].

15

رشد دسته‌های پرلیت، نه تنها با جوانه زدن لایه‌های جدید در مجاور لایه‌های قبلی بلکه توسط رشد طولی لایه‌های موجود نیز انجام می‌شود. این موضوع از قسمتهای مختلف شکل ۴-۲ که نشان می‌دهد با ادامه رشد دسته‌های پرلیت، تعداد و طول لایه‌های پرلیت زیاد می‌شوند مشخص است. به طور کلی، مشاهده شده است که هر دو نوع رشد (طولی و عرضی) با یکدیگر

برابرند. مطالعات میکروسکوپی ساختارهای پرلیتی نشان می‌دهد که رشد پرلیت شامل جوانه‌زنی دسته‌های جدید پرلیت در فصل مشترک دسته‌های قدیم و آستنیت (یا شاخه‌ای شدن لایه‌های فریت و سمنتیت) است. این موضوع در شکل ۴-۲(د) نشان داده شده است.



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

فصل دوم

16

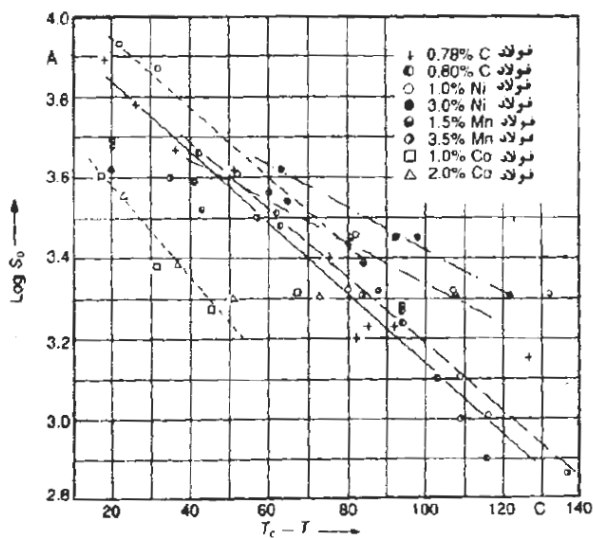
آهنگ تشکیل پرلیت، تحت تأثیر چندین پارامتر تغییر می‌کند. شاید مهمترین آنها عبارت از، آرایش مجدد یا جابه‌جایی مقدار زیادی کربن جهت انجام دگرگونی آستنیت به فریت کم کربن و سمیتیت پرکربن است. بر طبق رابطه (۲-۱)، جابه‌جایی یا نفوذ کربن که توسط ضریب نفوذ آن مشخص می‌شود بستگی به دما دارد. یکی از روابطی که برای نفوذ کربن در آستنیت آمده عبارت‌اند از

$$D_{\text{C}}^{\gamma} = 0.12 \exp(-32000/RT) \quad (2-4)$$

که در این رابطه D_{C}^{γ} متوسط ضریب نفوذ کربن در آستنیت (cm^2/s)، R ثابت گازها ($1.98 \text{ Cal/gr-mol} \cdot ^\circ\text{K}$) 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 بطور قابل ملاحظه‌ای نفوذ را کاهش می‌دهد.

در حقیقت چنین به نظر می‌رسد که ارتباط نفوذ و دما، با نتایج حاصل در شکل ۲-۷ تناقض دارد. این تناقض ظاهری، با توجه به اثر دمای تشکیل پرلیت بر روی فاصله بین لایه‌ای آن، قابل توجیه است.

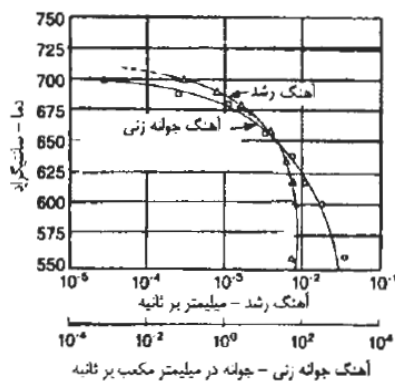
شکل ۲-۸ اثر تحت تبرید بر روی فاصله بین لایه‌ای در پرلیت را برای یک سری از فولادهای آلیاژی نشان می‌دهد.



فاصله متوسط بین لایه‌ای پرلیت (S_0) برحسب مقدار تحت تبرید برای فولادهای مختلف

بنابراین ملاحظه می‌شود که برای توجیه ارتباط بین آهنگ رشد پرلیت و دمای دگرگونی (شکل ۷-۲) باید دو نکته را در نظر گرفت، یکی نفوذ کربن در آستنیت (D_{γ}) و دیگری فاصله بین لایه‌ای پرلیت (S_p). ابتدا هر چه دمای تشکیل پرلیت (دگرگونی در دمای ثابت) از دمای Ae_1 کمتر می‌شود، نفوذ کاهش می‌یابد (رابطه ۲-۴) ولی از آنجایی که فاصله بین لایه‌ای نیز کمتر می‌شود (رابطه ۲-۵) مسافتی که اتمهای کربن باید نفوذ کرده تا از آستنیت خارج شده و بین فریت و سمنتیت توزیع شوند، کمتر می‌شود و بنابراین آهنگ رشد پرلیت افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، نفوذ، شدیداً به دما بستگی دارد (رابطه ۲-۴) و در دماهای پایین (کمتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد) بسیار کم بوده و در نتیجه آهنگ رشد پرلیت در دماهای یاد شده کاهش می‌یابد. در دماهای بالا (حوالی Ae_1) گرچه نفوذ سریع است، ولی به علت محدود بودن تعداد جوانه‌های پرلیت (آهنگ جوانه‌زنی بستگی به دما دارد) و در نتیجه زیاد بودن فاصله بین لایه‌ای، آهنگ رشد پرلیت فوق‌العاده کم خواهد بود.

آهنگ جوانه‌زنی که عبارت است از تعداد جوانه‌های تشکیل شده در واحد حجم (معمولاً یک میلیمتر مکعب) در ثانیه، تابع زمان و دماست. بنابراین برای مطالعه اثر دما بر روی آهنگ جوانه‌زنی لازم است که آهنگ متوسط جوانه‌زنی را برای هر دما در نظر گرفت.



شکل ۹-۲ تغییرات آهنگهای جوانه‌زنی (N) و رشد (G) برحسب دما در یک فولاد یونکتویدی با ترکیب شیمیایی ۰/۸۸C - ۰/۶۲Mn - % و عدد اندازه دانه ۵ [۹].
فصل دوم

23

با کاهش دما، آهنگ جوانه‌زنی به مراتب بیشتر از آهنگ رشد

افزایش می‌یابد و بنابراین هر چه دمای دگرگونی در تغییر فاز هم‌دما پایبندتر باشد دسته‌های بیشتری از پرلیت تشکیل می‌شود. از آنجایی که با کاهش دما، آهنگ جوانه‌زنی و رشد پرلیت هر دو افزایش می‌یابند (شکل ۹-۲)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش دما آهنگ دگرگونی آستنیت به پرلیت هم افزایش می‌یابد.



فصل دوم

24

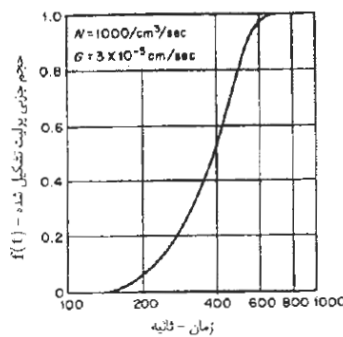
در یک دمای ثابت، مقدار آستنیت تبدیل شده به پرلیت را می‌توان با استفاده از رابطهٔ مهل^۱ و جانسون^۲ به صورت زیر مشخص کرد.

$$f(t) = 1 - \exp\left[\frac{-NG^2 t^2}{3}\right] \quad (6-2)$$

در این رابطه فرض شده است که آهنگ جوانه‌زنی (N) در هر دما ثابت باشد، تشکیل جوانه‌های پرلیت به صورت اتفاقی باشد و کره‌های پرلیت در حال رشد همچنان به صورت کروی باقی بمانند. در این رابطه: $f(t)$ ، حجم جزئی پرلیت تشکیل شده در یک زمان مشخص t و در یک دمای ثابت T است. G و N ، به ترتیب آهنگ جوانه‌زنی و آهنگ رشد کره‌های پرلیت به داخل آستنیت در دمای دگرگونی (T) است که از شکل ۹-۲ به دست می‌آیند.

در یک دمای ثابت، $f(t)$

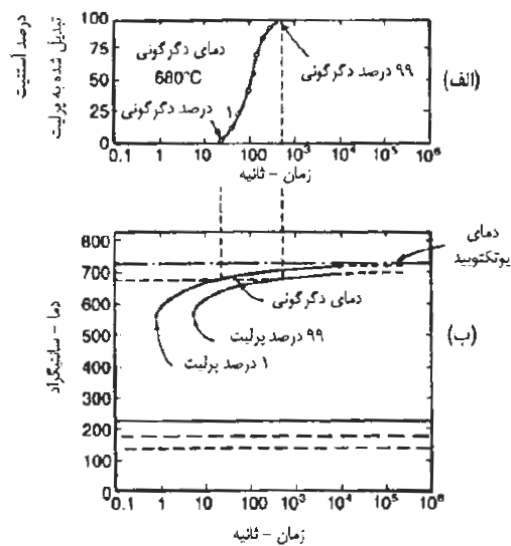
برحسب تابعی از زمان به صورت یک منحنی S شکل در می‌آید (شکل ۱۰-۲).



شکل ۱۰-۲ حجم جزئی پرلیت تشکیل شده برحسب زمان، منحنی فوق با استفاده از رابطه (۶-۲) رسم شده است [۹].

فازهای پرویوکتوئید

در بیشتر فولادها، یعنی فولادهای غیر یوکتوئیدی، آستنیت در دمایی بالاتر از دمای A_1 شروع به تغییر فاز می‌کند. شکل ۱-۲ نشان می‌دهد که در فولادهایی که کربن آنها کمتر از یوکتوئید باشد (فولادهای هیپویوکتوئید^۱) در بین خطوط A_1 و A_{cm} فریت تشکیل می‌شود، در حالی که در فولادهایی که کربن آنها بیش از یوکتوئید است (هایپروکتوئید^۲) در بین خطوط A_1 و A_{cm} سمنتیت تشکیل می‌شود. فریت و سمنتیت که قبل از دگرگونی آستنیت به پرلیت تشکیل می‌شوند، به ترتیب به فریت پرویوکتوئید^۳ و سمنتیت پرویوکتوئید موسوم‌اند.



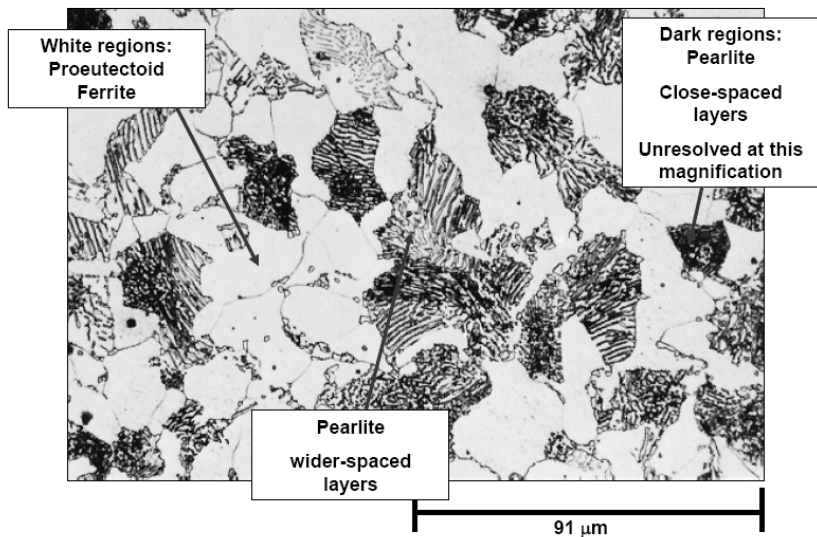
شکل ۱۲-۲ چگونگی رسم منحنیهای دما - زمان - دگرگونی. (الف) منحنی دگرگونی همدمای تشکیل پرلیت (ب) نمودار دما - زمان - دگرگونی که از منحنیهای دگرگونی همدمای دست می‌آید [۹].

فریت و سمنتیت پرویوتکتوئید از نظر ساختار بلوری و ترکیب شیمیایی، دقیقاً مشابه با فریت و سمنتیت پرلیتی اند، ولی توزیع آنها در میکروساختار کاملاً متفاوت از آرایش لایه‌ای فریت و سمنتیت موجود در پرلیت است. شکل ۲-۱۳ میکروساختار فریت پرویوتکتوئید و پرلیت تشکیل شده در یک آلیاژ ۰.۴٪C-Fe که از ناحیه تک فازی آستنیت تا دمای اتاق به آهستگی سرد شده است را نشان می‌دهد. نواحی سفیدرنگ کاملاً متمایز و جدا شده از ساختار لایه‌ای پرلیت، همان فریت پرویوتکتوئید است.



شکل ۲-۱۳ فریت پرویوتکتوئید (نواحی سفیدرنگ) و پرلیت در آلیاژ ۰.۴٪C-Fe که پس از آستنیت‌شدن، در هوا سرد شده است. محلول حکاکی، نایتال. بزرگنمایی $\times 500$ [۱].

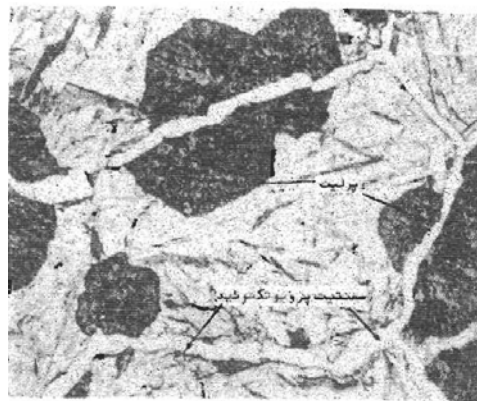
Hypo-eutectoid Composition (0.38 wt% C)



در مواردی که احتیاج به شکل پذیری

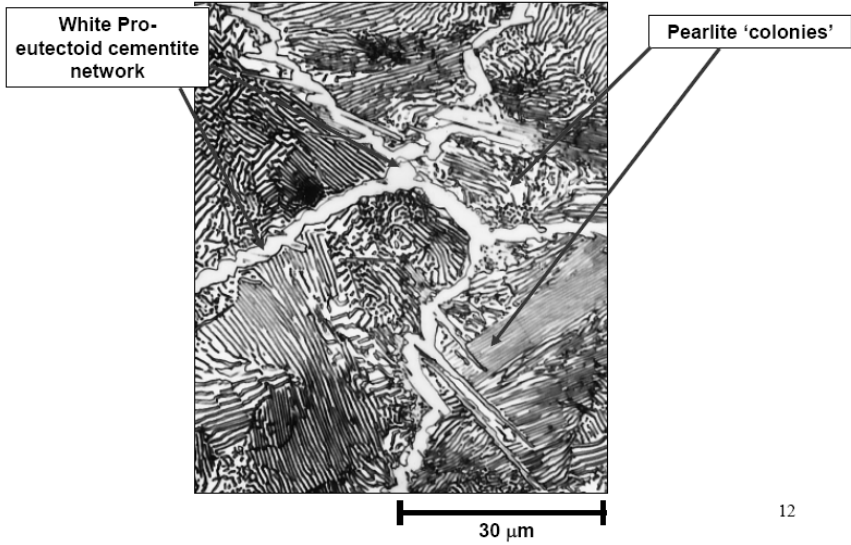
بسیار خوب باشد، به عنوان مثال برای ساخت بعضی از قسمتهای اتومبیل، عمدتاً از فولادهایی استفاده می شود که دارای میکروساختار فریتی باشند، از سوی دیگر، در مواردی که مقاومت به سایش و سختی، بیشترین اهمیت را داشته باشند، به عنوان مثال خطوط راه آهن، از فولادهایی استفاده می شود که میکروساختار آنها عمدتاً پرلیت باشد.

شکل ۲-۱۴ شبکه پیوسته ای از سمنتیت پرویوتکتوئید در آلیاژ $Fe-1\%C$ که در دمای 780° درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه نگه داشته شده است را نشان می دهد. در شکل فوق تعدادی کره های پرلیت هم دیده می شوند که همان نواحی سیاه رنگ دایره ای شکل اند. مابقی میکروساختار مارتنزیت است که در اثر سریع سرد کردن قطعه از دمای 780° درجه سانتیگراد تشکیل شده است.



شکل ۲-۱۴ سمنتیت پرویوتکتوئید (شبکه پیوسته سفیدرنگ) تشکیل شده در مرز دانه های استنتیت در فولاد $Fe-1\%C$ که به مدت ۳۰ دقیقه در 780° درجه سانتیگراد نگه داشته شده

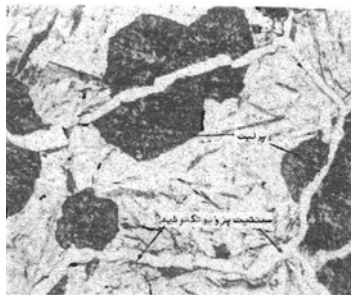
Hyper-eutectoid Composition (1.40 wt% C)



گرچه مقدار سمنتیت پرویوکتوئید تشکیل شده در فولادها همواره بسیار کم است، ولی وجود یک شبکه پیوسته سمنتیت پرویوکتوئید در مرز دانه‌های آستنیت اولیه، شکل‌پذیری و مقاومت به ضربه فولادهای پرکربن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

تشکیل فازهای پرویوتکتوئید

فازهای پرویوتکتوئید در فولادها به دو طریق ظاهر می‌شوند. نوع اول که در شکل‌های ۲-۱۳ و ۲-۱۴ نشان داده شده‌اند، شامل دانه‌های فریت و یا سمنتیت است که در امتداد مرز دانه‌های آستنیت جوانه زده و رشد می‌کند. شکل دانه‌های فریت و سمنتیت یاد شده تابع موانعی که در سر راه رشد آنها وجود دارد بوده و بنابراین شکل واقعی خود را ندارند، این بلورها به دگرریختهای^۱ مرز دانه‌ای موسوم‌اند.



فصل دوم

نوع دوم از فازهای پرویوتکتوئید شامل دانه‌های سوزنی و یا صفحه‌ای شکل بوده که از مرز دانه‌های آستنیت اولیه شروع شده و به داخل دانه‌ها رشد کرده‌اند. شکل ۲-۱۵ فریت پرویوتکتوئید از نوع دوم را نشان می‌دهد. دانه‌های صفحه‌ای و یا سوزنی شکل از این نوع به صفحات یا ساختار ویدمن اشتاتن^۲ موسوم است. کلمه ویدمن اشتاتن از نام دانشمند فرانسوی که برای اولین بار به این ساختار پی برد گرفته شده است. امروزه ویدمن اشتاتن را در رابطه با توضیح و تفسیر هر دانه طویل یا صفحه‌ای شکلی که در امتداد صفحات خاص بلوری دانه اولیه تشکیل شده باشد به کار می‌برند.



شکل ۲-۱۵ تصویر میکروسکوپی فریت پرویوتکتوئید در قالب صفحات ویدمن اشتاتن در فولاد ۰.۴٪C، Fe. محلول حکاکی نایتال، بزرگنمایی × ۲۰۰ [۱].

فازهای پرویوتکتوئید از نوع اول معمولاً تحت شرایطی نزدیک به شرایط تعادل تشکیل می‌شوند. به عبارت دیگر، فازهای یاد شده هنگامی تشکیل می‌شوند که فولاد برای مدت زمان طولانی در ناحیه دوفازی نگهداری شده و یا اینکه به آهستگی از گسترده دمایی فوق عبور داده شده و سرد شود. تحت شرایط یاد شده، زمان زیادی جهت نفوذ وجود دارد، ولی نیروی محرکه

ترمودینامیکی نسبتاً کم است. در نتیجه جوانه‌های نسبتاً بزرگ بر روی مرز دانه‌های آستنیت به صورت ناهمگن تشکیل می‌شوند. این امر باعث می‌شود که مقداری از مرز دانه‌های آستنیت حذف شود و بنابراین افزایش انرژی فصل مشترک ناشی از به وجود آمدن فاز جدید به حداقل خود برسد.

به وجود آمدن جوانه‌های فاز پرویوتکتوئید در داخل دانه‌های آستنیت امکانپذیر نیست؛ زیرا در این حالت، تمامی فصل مشترک فاز جدید - قدیم باید به وجود آید.

برخلاف

فازهای پرویوتکتوئید نوع اول که تحت شرایط تعادلی به وجود می‌آیند، صفحات ویدمن اشتاتن هنگامی به وجود می‌آیند که فولاد سریعتر از حالت تعادلی سرد شود و یا اینکه تحت تبرید قابل ملاحظه‌ای نسبت به A_{cm} و یا A_p وجود داشته باشد. بنابراین، در حالی که نفوذ کاهش می‌یابد، نیروی محرکه برای تشکیل فاز پرویوتکتوئید افزایش خواهد یافت.

تشکیل پرلیت در فولادهای حاوی عناصر آلیاژی

در رابطه با تشکیل پرلیت در فولادهای حاوی عناصر آلیاژی اثرات این عناصر نیز باید در نظر گرفته شود. گفته شده است که منگنز و نیکل بین فریت و سمیتیت توزیع نمی‌شوند و بنابراین تشکیل پرلیت در فولادهای Fe-C-Mn و Fe-C-Ni عمدتاً بستگی به نفوذ حجمی کربن در آستنیت دارد.

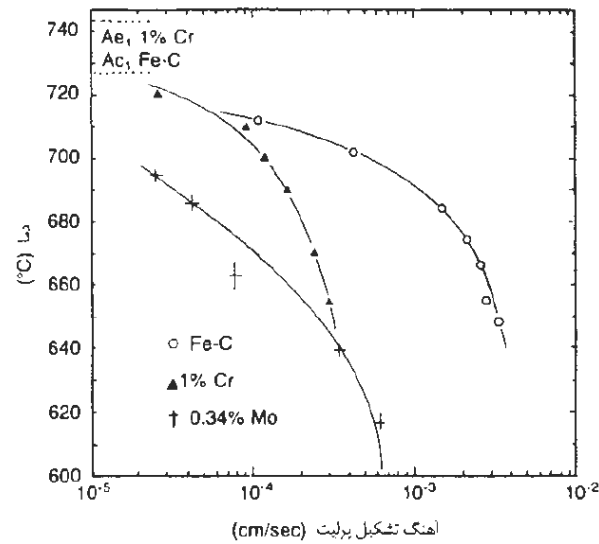
هرگونه کاهش در آهنگ رشد پرلیت در این فولادها ناشی از اثرات منگنز و نیکل

بر روی نفوذ کربن در آستنیت است.

لیکن، کرم و مولیبدن که عناصر کاربیدساز قوی هستند با

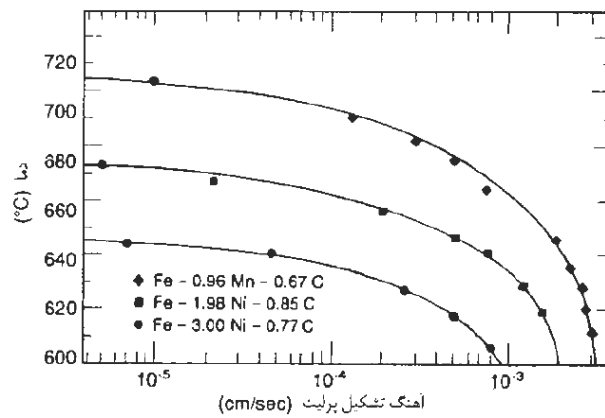
نفوذ از طریق وجه مشترکها به لایه‌های کاربید ملحق می‌شوند. بنابراین، در فولادهای Fe-C-Cr و Fe-C-Mo به خاطر نیاز به نفوذ عناصر کرم و مولیبدن (که یک فرایند نفوذ آهسته‌ای است) آهنگ رشد پرلیت کاهش می‌یابد. آهنگ نفوذ عناصر جانشینی نظیر کرم و مولیبدن به مراتب کندتر از آهنگ نفوذ عناصر بین‌نشینی نظیر کربن است. این امر به خاطر اندازه اتمی متفاوت آنهاست.

تمامی عناصر آلیاژی آهنگ رشد پرلیت را کاهش می دهند.



شکل ۲-۱۷ آهنگ تشکیل پرلیت برحسب تابعی از دما برای آلیاژ ۰.۸۱٪ C / Fe-٪ و فولاد یوتکتوئید حاوی کرم و مولیبدن [۱].

41



شکل ۲-۱۸ آهنگ تشکیل پرلیت برحسب تابعی از دما برای فولادهای یوتکتوئیدی حاوی نیکل و منگنز

فصل دوم

42

تمامی عناصر آلیاژی آهن‌گ رشد پرلایت را کاهش می‌دهند. این

اثر در مواقعی که هدف دستیابی به میکروساختارهایی بجز پرلایت باشد (مثلاً به هنگام سخت کردن فولاد) بسیار مفید است. اثرات عملی و کاربردی عناصر آلیاژی در به تأخیر انداختن یا کند کردن تشکیل پرلایت در فولادها، اساس بحث سختی‌پذیری است

پایان فصل دوم