

فصل سوم

مارتنزیت و بینیت

بینیت



دگرگونی پرلیتی که مستلزم نفوذ است در دماهایی نسبتاً بالا انجام می شود

دگرگونی مارتنزیتی^۱ که در دماهایی به مراتب پایینتر از دمای تشکیل پرلیت انجام می شود و بنابراین نفوذ در آن نقشی ندارد

با توجه به

این نکته که دگرگونی مارتنزیتی بدون نفوذ یا جابه جایی انفرادی اتمها بوده و بنابراین نیاز به فعالیت حرارتی ندارد، گفته می شود که این دگرگونی از نوع برشی^۱ است و به کمک جابه جایی گروهی اتمها انجام می شود.

از جمله مشخصه‌های دیگر دگرگونی مارتنزیتی خصوصیات شبکه

بلوری و میکروساختار ریز و سوزنی شکل آن است. تشکیل مارتنزیت، مستلزم سریع سرد کردن و بنابراین متوقف کردن دگرگونی نفوذی است. البته شرایط دقیق سرد کردن که در یک فولاد مشخص منجر به تشکیل مارتنزیت می‌شود بستگی به درصد کربن، عناصر آلیاژی و اندازه

دانه‌های آستنیت دارد.

مارتنزیت و دگرگونی مارتنزیتی

واژه مارتنزیت که برای مدت‌ها فقط به ساختار سخت حاصل از سریع سرد کردن فولادهای کربنی اطلاق می‌شد برای قدردانی از دانشمند معروف متالورژ آلمانی به نام مارتنز⁴ است.

در به کار بردن واژه مارتنزیت، اخیراً به جای محصولات حاصل، تأکید بیشتر بر روی طبیعت دگرگونی گذاشته شده است.

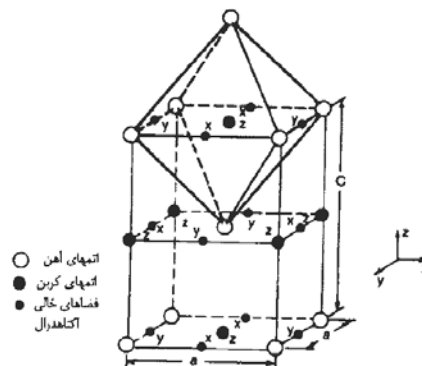
دگرگونی مارتنزیتی، همچنین در سیستمهای آلیاژی فلزات غیرآهنی نظیر Au-Cd ، Cu-Al و در اکسیدها نظیر SiO_2 و ZrO_2 وجود دارد.

بنابراین، مارتنزیت فازی است که توسط یک دگرگونی مارتنزیتی یا جابه‌جایی گروهی اتمها حاصل می‌شود، گرچه ممکن است فاز یاد شده ترکیب شیمیایی، ساختار بلوری و خواص کاملاً متفاوتی از مارتنزیت در فولادها داشته باشد.

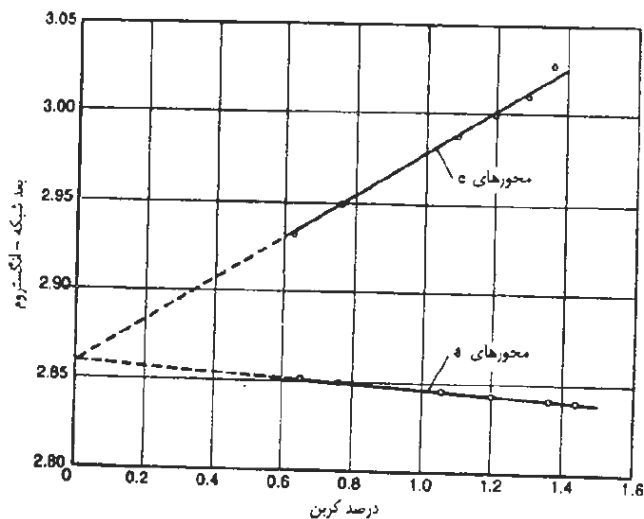
در آلیاژهای آهن-کربن و فولادها، مارتنزیت از سرد کردن سریع آستنیت به وجود می‌آید. از آنجایی که دگرگونی آستنیت به مارتنزیت بدون نفوذ انجام می‌شود، بستگی به ترکیب شیمیایی آلیاژ، تا ۲ درصد کربن، مارتنزیت دقیقاً همان ترکیب شیمیایی آستنیت اولیه را دارد

در اینجا برخلاف تشکیل پرلیت، اتمهای کربن بین دو فاز فیریت و سیمنتیت توزیع نخواهند شد، بلکه در فضاهای هشت‌وجهی شبکه bcc محبوس شده و فاز جدید مارتنزیت را به وجود می‌آورند.

با تشکیل مارتنزیت، کربن محلول در شبکه bcc به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. با افزایش درصد کربن محلول در شبکه، جاهای خالی بیشتری از شبکه توسط کربن اشغال می‌شود، در نتیجه شبکه بلوری از bcc به سمت bct^۲ میل می‌کند که در آن پارامتر c شبکه بزرگتر از دو پارامتر دیگر a است (شکل ۱-۳). نسبت $\frac{c}{a}$ که به تراگونالیتته^۳ شبکه موسوم است با افزایش درصد کربن آلیاژ افزایش می‌یابد (شکل ۲-۳).



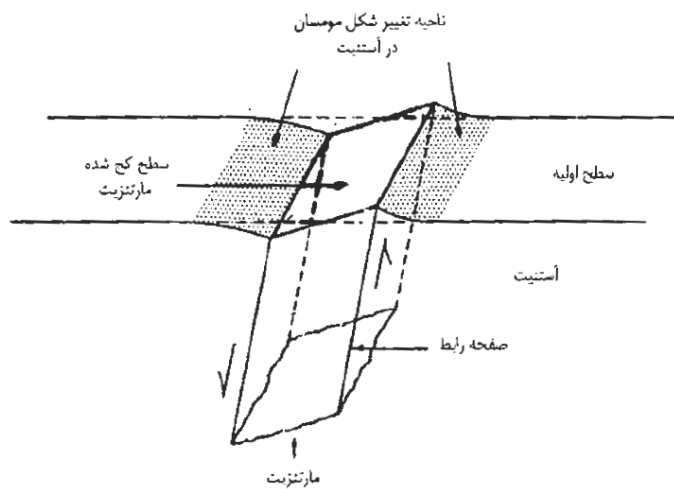
شکل ۱-۳ شبکه بلوری مکعب مستطیل (bct) مارتنزیت در آلیاژهای آهن-کربن. اتمهای کربن در یک سری از فضاهای هشت‌وجهی بر روی محور Z محبوس شده، در حالی که فضاهای هشت‌وجهی محورهای X و Y اشغال نشده‌اند [۱].



شکل ۳-۲ اثر درصد کربن در فولاد کربنی ساده بر روی اندازه پارامترهای d و C مارتنزیت

از آنجایی که در تشکیل مارتنزیت نفوذ نقشی ندارد، مارتنزیت فازی ناپایدار است. اگر مارتنزیت تا دمایی حرارت داده شود که اتمهای کربن قدرت تحرک کافی جهت نفوذ پیداکنند، از فضاهای خالی هشت وجهی خارج شده و تشکیل سمنتیت می دهند. در نتیجه شبکه بلوری مارتنزیت از حالت مکعب مستطیلی خارج شده و فازهای تعادلی موجود در نمودار تعادلی آهن - کربن، یعنی سمنتیت و فرویت به وجود می آیند. تجزیه مارتنزیت به ساختارهای دیگر در اثر حرارت دادن که به بازپخت^۴ موسوم است در فصل هشتم بررسی خواهد شد.

مارتنزیت توسط یک مکانیزم برشی به وجود می آید. در این مکانیزم، جهت انجام دگرگونی، اتمهای زیادی با همدیگر و به طور همزمان جابه جا می شوند. این جابه جایی گروهی اتمها، کاملاً متفاوت از جابه جایی انفرادی آنها (نفوذ) و حرکت در فصل مشترک، از فاز قدیم به فاز جدید است.



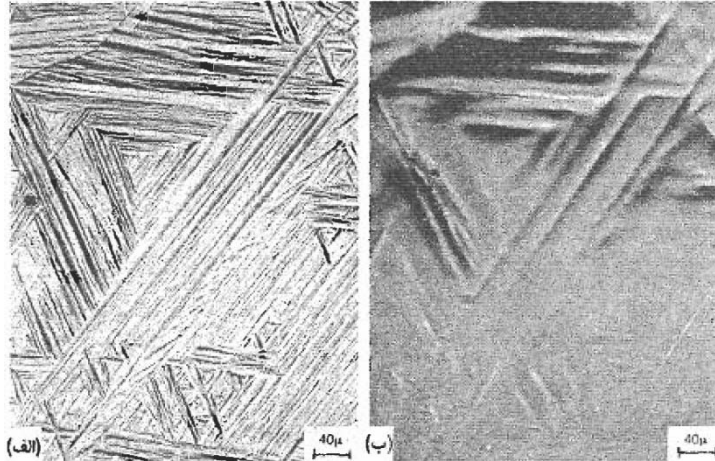
شکل ۳-۳ شمایی از برش و کج شدن سطح، ناشی از تشکیل یک تیغه مارتنزیت

همچنین شکل ۳-۳ نشان می‌دهد که تشکیل مارتنزیت، همواره همراه با مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر شکل مومسان در فاز استنیت مادر است. تنش یا نیروی عکس‌العمل حاصل از تغییر شکل مومسان استنیت بر روی پلور مارتنزیت، رشد پلور مارتنزیتی را محدود کرده و ادامه دگرگونی (تشکیل مارتنزیت) فقط با جوانه‌زنی بگوره‌های جدید مارتنزیتی امکانپذیر است. اگر فاز استنیت نتواند تغییر شکلهای مومسان حاصل از برشهای مارتنزیت را تحمل کند، در فصل مشترکهای مارتنزیت - استنیت مادر جدایش یا ترک خوردگی ایجاد می‌شود.

خوشبختانه، در

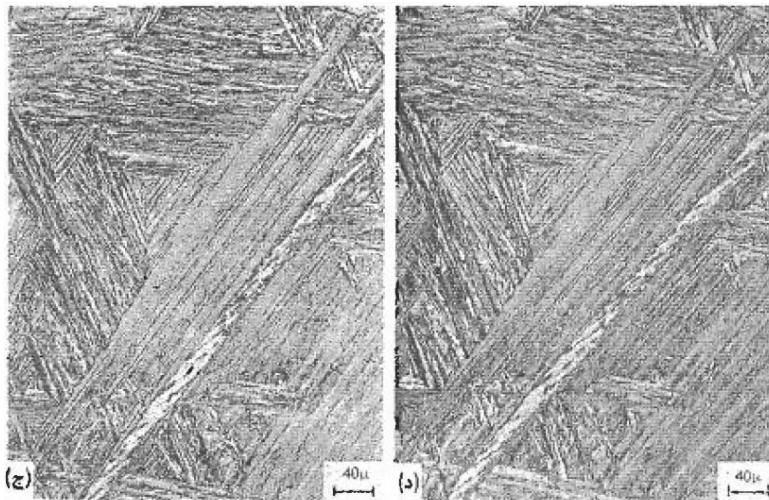
فولادها فاز استنیت از انعطاف پذیری کافی جهت تحمل تغییر شکل مومسان ناشی از تشکیل مارتنزیت برخوردار است.

صفحاتی از بلورهای آستنیت که بلورهای مارتنزیت ترجیحاً بر روی آنها تشکیل می‌شوند، به صفحات رابط^۱ موسوم‌اند (شکل ۳-۳). با تغییر ترکیب شیمیایی فولاد، صفحات رابط نیز تغییر می‌کنند.



شکل ۳-۲ کج شدن سطح و اثر آن بر روی میکروساختار مارتنزیت در فولاد $0.2\%C-Fe$. (الف) کج شدن سطح بعد از سریع سرد شدن، (ب) ناحیه نشان داده شده در تصویر (الف) که به طور جزئی پولیش شده،

11



(ج) ناحیه نشان داده شده در (ب) پس از حکاکی کردن، و (د) همان ناحیه پس از پولیش کامل جهت برطرف کردن برجستگیها و حکاکی مجدد. محلول حکاکی نایتال [۱].

فصل سوم

12

در شرایط سه‌بعدی، بلورهای مارتنزیت
به شکل لایه‌ای^۱ یا بشقابی^۲ با فصل مشترک صاف و مسطح وجود دارند

بنابراین،

شکل سوزنی بلورهای مارتنزیت که بر روی نمونه‌های پولیش و حکاکی شده ظاهر می‌شود،
سطح مقطعی از یک لایه یا بشقاب مارتنزیتی است.

سینتیک تشکیل مارتنزیت

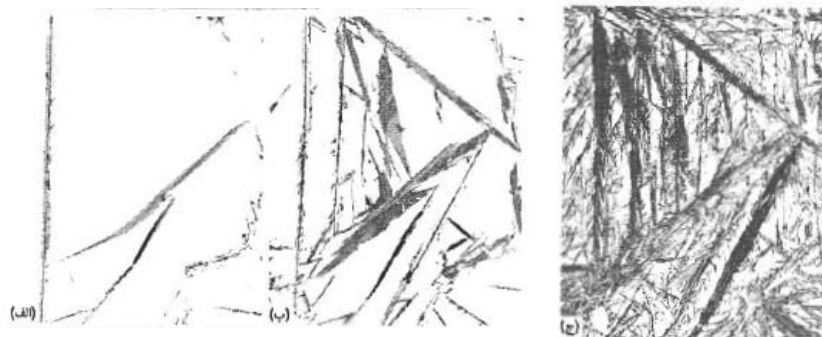
در بیشتر فولادها تشکیل مارتنزیت از آستنیت در ضمن کاهش دما به طور پیوسته انجام
می‌شود. این نوع دگرگونیها که احتیاج به فعالیت حرارتی و جابه‌جایی انفرادی اتمها ندارند به

۳- Athermal

دگرگونیهای اترمال^۳ موسوم‌اند.

این نامگذاری به منظور متمایز ساختن دگرگونیهای یاد شده از
دگرگونیهای است که توسط نفوذ اتمها انجام می‌شوند و بنابراین نیاز به فعالیت حرارتی دارند.

به عنوان مثال، اگر آستنیت در دمایی ثابت در زیر خط A_1 نگهداری شود، پرلیت به طور پیوسته و به صورت تابعی از زمان تشکیل می‌شود. از طرف دیگر، درصد مارتنزیت تشکیل شده تابعی از مقدار تحت تبرید آستنیت نسبت به خط A_1 است. به بیان دیگر، اگر آستنیت خیلی سریع تا دمایی در زیر دمای تشکیل مارتنزیت سرد شود، مارتنزیت بلافاصله تشکیل می‌شود. حال اگر، قبل از اینکه تمامی آستنیت به مارتنزیت تبدیل شود، سرد کردن متوقف شود، تشکیل مارتنزیت نیز متوقف می‌شود و ادامه تشکیل مارتنزیت فقط در صورتی امکانپذیر است که دما کاهش یابد.



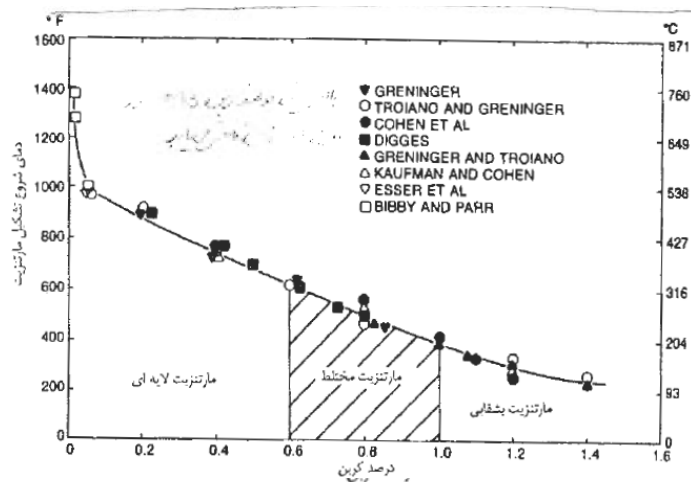
شکل ۳-۵ پیشرفت دگرگونی اترمال مارتنزیتی در آلیاژ $Fe-1\%C$ پس از سرد کردن تا (الف) ۲۴ درجه سانتیگراد، (ب) ۶۰- درجه سانتیگراد و (ج) ۱۰۰- درجه سانتیگراد، محلول حکاکی نایتال، بزرگنمایی $\times 500$ [۱].

مشخص است که در هر دما، مقدار مشخصی مارتنزیت تشکیل می‌شود و ادامه تشکیل مارتنزیت مستلزم تحت تبرید بیشتر است.

دمایی که در یک آلیاژ، دگرگونی آستنیت به مارتنزیت شروع می‌شود را دمای شروع تشکیل مارتنزیت نامیده و آن را با M_s نشان می‌دهند. در حقیقت، M_s منعکس کننده مقدار نیروی محرکه ترمودینامیکی لازم برای شروع دگرگونی برشی آستنیت به مارتنزیت است.

۱ - Martensite start

در فولادهای کربنی و آلیاژهای آهن-کربن با افزایش درصد کربن، دمای M_s به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۶ دمای شروع تشکیل مارتنزیت (M_s) برحسب درصد کربن فولاد، گستره ترکیب شیمیایی برای مارتنزیت‌های لایه‌ای و بشقابی در آلیاژهای آهن-کربن نیز نشان داده شده است [۱].

در حقیقت، کربن موجود به صورت محلول جامد،

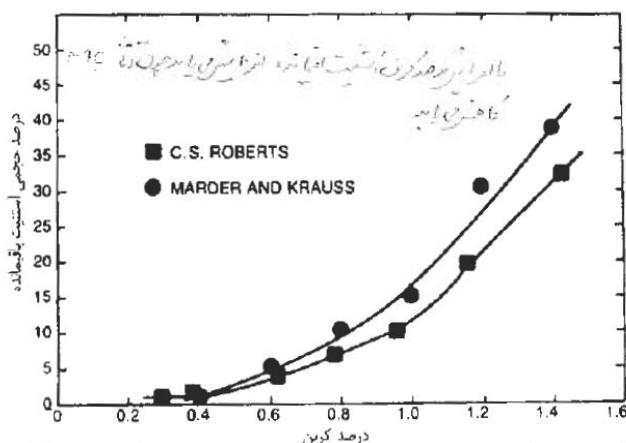
استحکام یا مقاومت برشی آستنیت را افزایش داده و بنابراین با افزایش کربن نیروی محرکه بیشتری جهت شروع لغزش برای تشکیل مارتنزیت لازم است. این نیروی محرکه بیشتر، با سرد کردن فولاد تا دمایی پایینتر و یا به عبارت دیگر تحت تبرید بیشتر (M_s کمتر) به دست می آید.

دمای پایان تشکیل مارتنزیت (M_f) یا دمایی که دگرگونی آستنیت به مارتنزیت در یک آلیاژ داده شده خاتمه می یابد نیز تابعی از درصد کربن آلیاژ است.

دمای M_f آلیاژهایی که بیشتر از ۰/۳ درصد کربن دارند، زیر دمای اتاق است. بنابراین در دمای اتاق و مخصوصاً در رابطه با فولادهای پرکربن، همواره مقدار قابل ملاحظه‌ای آستنیت تبدیل نشده همراه مارتنزیت وجود دارد.

مقدار آستنیت باقیمانده که به کمک پراش پرتوی ایکس^۲ اندازه گیری شده

است، می تواند در دمای اتاق به ۳۰ تا ۴۰ درصد در فولادهای آهن - کربن شامل ۱/۴ تا ۱/۴ درصد کربن برسد.



شکل ۳-۷ آستنیت باقیمانده برحسب درصد کربن فولاد در آلیاژهای آهن - کربن [۱].

در دمای اتاق، حتی در فولادهایی که دارای ۰/۳ تا ۰/۴ درصد کربن باشند مقدار بسیار کمی آستنیت باقی می‌ماند. برای هر درصد کربن و دمای داده شده، عناصر آلیاژی که باعث پایداری آستنیت می‌شوند مقدار آستنیت باقیمانده را افزایش می‌دهند.

عناصر آلیاژی بر روی دمای M_s فولادها نیز اثر می‌گذارند.

به طور کلی تمامی عناصر آلیاژی بجز کبالت، دمای M_s را کاهش می‌دهند.

جدول ۱-۳ لیست فرمولهایی که می‌توان با استفاده از آنها دمای M_s یک فولاد را با توجه به ترکیب شیمیایی آن مشخص کرد [۱].

شماره	تاریخ	رابطه
۱	۱۹۴۴	$M_s(^{\circ}F) = 930 - 570C - 60Mn - 50Cr - 30Ni - 20Si - 20Mo - 20W$
۲	۱۹۴۴	$M_s(^{\circ}F) = 925 \times (1 - 0/620C)(1 - 0/033Si)(1 - 0/045Ni)$ $(1 - 0/070Cr)(1 - 0/029Mo)(1 - 0/018W)(1 + 0/120Co)$
۳	۱۹۴۶	$M_s(^{\circ}F) = 930 - 600C - 60Mn - 50Cr - 30Ni - 20Si - 20Mo - 20W$
۴	۱۹۴۶	$M_s(^{\circ}F) = 1000 - 650C - 70Mn - 70Cr - 35Mn - 50Mo$
۵	۱۹۴۶	$M_s(^{\circ}F) = 930 - 540C - 60Mn - 40Cr - 30Ni - 20Si - 20Mo$
۶	۱۹۵۶	$M_s(^{\circ}C) = 561 - 474C - 33Mn - 17Cr - 17Ni - 21Mo$
۷	۱۹۶۵	$M_s(^{\circ}C) = 539 - 423C - 30/4Mn - 12/1Cr - 17/7Ni - 7/5Mo$
۸	۱۹۶۵	$M_s(^{\circ}C) = 512 - 453C - 16/9Ni + 15Cr - 9/5Mo$ $+ 217(C)^2 - 71/5(C)(Mn) - 67/6(C)(Cr)$

با داشتن M_s یک فولاد، مقدار مارتنزیت تشکیل شده در دگرگونی اترمال که فقط تابعی از میزان تحت تبرید در زیر دمای M_s است را می‌توان مشخص کرد. برای توضیح سینتیک دگرگونی اترمال تشکیل مارتنزیت، دو رابطه به صورت زیر ارائه شده‌اند:

$$f = 1 - 6.96 \times 10^{-15} (455 - \Delta T)^{5.37}$$

$$f = 1 - \exp[-(1/10 \times 10^{-2} \Delta T)]$$

که در اینجا؛ f تابع حجمی مارتنزیت و ΔT مقدار تحت تبرید در زیر دمای M_s است.

رابطه

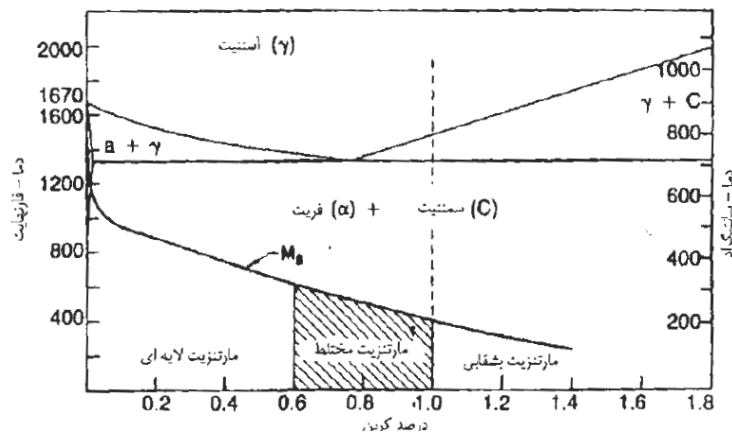
اول برای فولادهای کربنی ساده با ۱/۱ درصد کربن و رابطه دوم برای آلیاژهای آهن-کربن شامل ۰/۳۷ تا ۱/۱ درصد کربن ارائه شده است.

فصل سوم

23

شکلهای مختلف مارتنزیت در فولادها

در فولادهای کربنی عملیات حرارتی پذیر، مارتنزیت به دو شکل عمده یکی لایه‌ای^۱ و دیگری بشقابی^۲ دیده می‌شود.



شکل ۳-۹ گستره تشکیل مارتنزیت لایه‌ای و بشقابی در آلیاژهای آهن-کربن

24

تقسیم‌بندی

مارتنزیت به دو نوع لایه‌ای و بشقابی شکل، براساس شکل واحدهای منفرد مارتنزیتی در ساختار آنهاست. واژه لایه‌ای برای توصیف مارتنزیت تشکیل شده در فولادهای کم کربن و یا کربن متوسط است، در حالی که واژه بشقابی توصیف‌کننده شکل مارتنزیت تشکیل شده در فولادهای پرکربن است.

بنابراین واژه‌های لایه و بشقاب به شکل سه‌بعدی بلورهای منفرد مارتنزیت مربوط می‌شود.

در زیر میکروسکوپ ساختار مارتنزیت به صورت سوزنی شکل

دیده می‌شود. در حقیقت سوزنهای یاد شده مقاطع لایه‌ها و بشقابهای مارتنزیتی با صفحه پولیش است که پس از پولیش و حکاکی ظاهر می‌شوند.

واحدهای تشکیل دهنده مارتنزیت بشقابی شکل، از نظر اندازه و ابعاد، کاملاً در گستره تشخیص میکروسکوپ نوری قرار دارند. اغلب آستنیت باقیمانده که در آلیاژهای پرکربن همراه با مارتنزیت وجود دارد در بهتر نمایان شدن بشقابهای مارتنزیتی در زیر میکروسکوپ نوری مؤثر است.

از طرف دیگر هم چنانکه نشان داده خواهد شد، بسیاری از واحدهای تشکیل دهنده

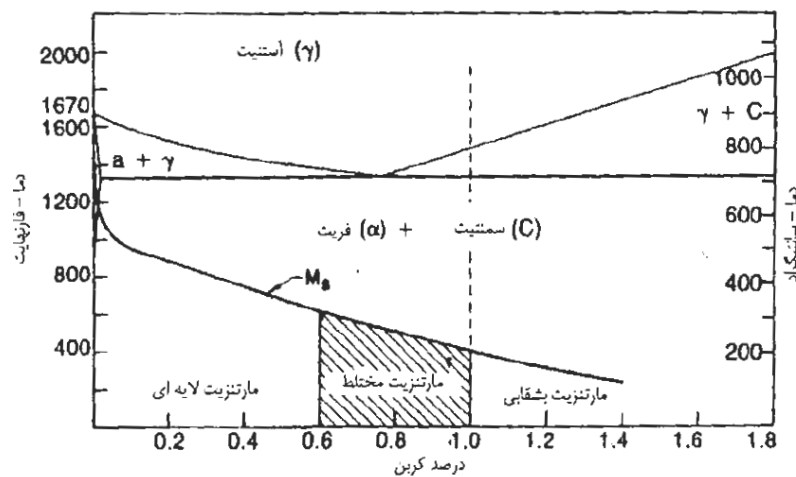
مارتنزیت لایه‌ای شکل از نظر اندازه و ابعاد در گستره تشخیص میکروسکوپ نوری نیستند. از طرفی، توزیع آستنیت باقیمانده موجود نیز در این حالت ریزتر از آن است که توسط میکروسکوپ نوری تشخیص داده شود. از این رو، تا قبل از اختراع میکروسکوپهای الکترونی، مارتنزیت بشقابی که به آسانی توسط میکروسکوپهای نوری قابل تشخیص بود بیشترین اهمیت را در زمینه عملیات حرارتی داشت.

گرچه مارتنزیت بشقابی در بعضی از کاربردهای عملیات

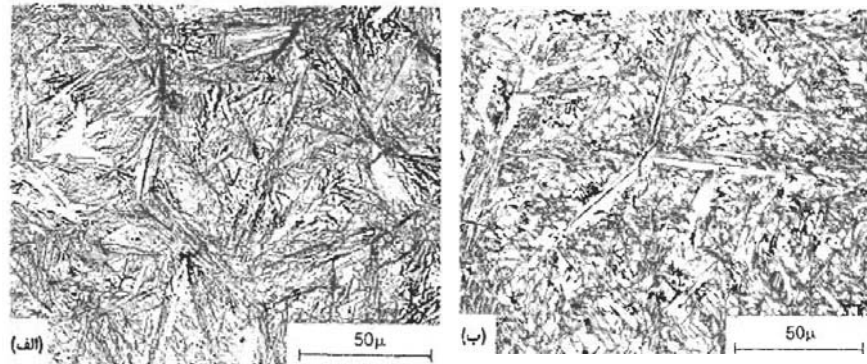
حرارتی، نظیر ساختار لایه کربن داده شده^۱ در فولادهای سمانتاسیون اهمیت زیادی دارد، ولی بیشتر فولادهایی که قابلیت سختی پذیری دارند دارای درصد کربن کم یا متوسط بوده و بنابراین میکروساختار آنها شامل مارتنزیت لایه‌ای است.

مارتنزیت بشقابی

مارتنزیت بشقابی شکل در فولادهای پرکربن (شکل ۳-۹) و همچنین آلیاژهای آهنی دیگر (به عنوان مثال، $Fe-0.33/5Ni$) به وجود می‌آید.



میکروساختار یباد شده از تیغه‌های درشت و
سوزنی شکل مارتنزیت که اغلب توسط مقدار زیادی آستنیت باقیمانده احاطه شده‌اند، تشکیل
شده است



شکل ۳-۱۰ مارتنزیت بشقابی (سوزنهای تیره‌رنگ) و آستنیت باقیمانده، (نواحی سفیدرنگ) در
(الف) آلیاژ $Fe-1.22C$ و (ب) آلیاژ $Fe-1.4C$ ، میکروساختار نوری [۱].
فصل سوم

29

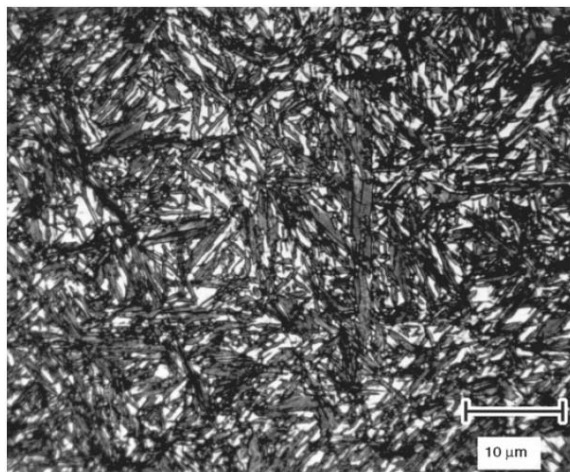


Fig. 20 Microstructure of water-quenched UNS G10800 steel showing plate martensite. The light regions
between the martensite plates are retained austenite. 10% sodium metabisulfite etch. Original
magnification 1000×

فصل سوم

30

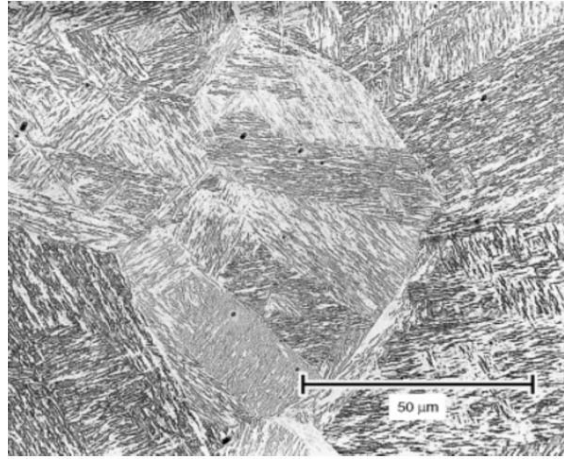


Fig. 19 Microstructure of water-quenched low-alloy steel showing lath martensite. 2% nital etch. Original magnification 500×

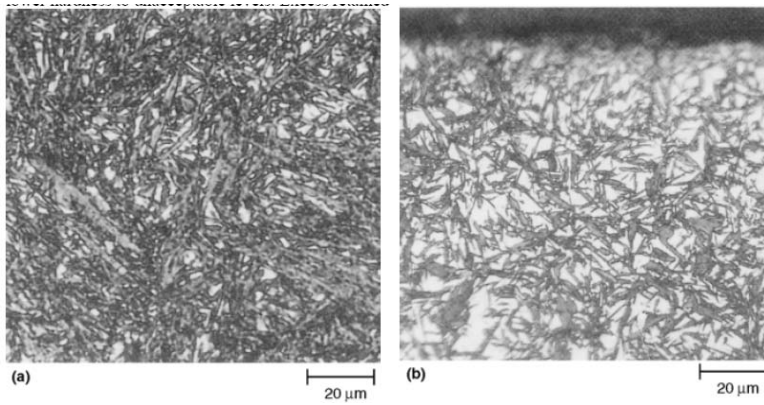
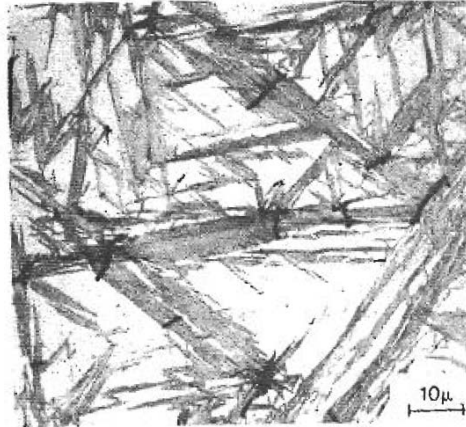


Fig. 15 Retained austenite (light) and martensite in the surface of carburized and hardened nickel-chromium steel. (a) ~15% austenite. (b) ~40% austenite. Both 550×

یک نتیجه بسیار مهم ناشی از تشکیل تیغه‌های متقاطع مارتنزیتی در آلیاژهای آهن-کربن، عبارت از ایجاد ترکهای مویی در اثر برخورد تیغه‌های یاد شده با یکدیگر است. شکل ۱۱-۳ مثالی از این نوع ترکها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۳ ترکهای مویی در مارتنزیت بشقابی مربوط به فولاد $Fe-1/4\%C$
فصل سوم

33

ترکهای مویی تمایل دارند که در بزرگترین تیغه‌های

مارتنزیت تشکیل شوند. بنابراین در فولادهای ریزدانه، از آنجایی که تیغه‌های مارتنزیت ظریفتر هستند، امکان تشکیل ترکهای مویی کاهش می‌یابد. همچنین در فولادهای کم‌کربن (مارتنزیت لایه‌ای شکل) از آنجایی که اندازه واحدهای منفرد مارتنزیت کاهش می‌یابد، امکان برخورد آنها با یکدیگر و در نتیجه ایجاد ترکهای مویی حذف می‌شود.

مارتنزیت بشقابی در فولادهای

پرکربن نسبتاً شکننده و حساس نسبت به ترکهای مویی است. در آلیاژهای آهن-نیکل، مارتنزیت از انعطاف پذیری بیشتری برخوردار است، از این رو تلاقی و برخورد واحدهای منفرد مارتنزیتی با یکدیگر منجر به شکسته شدن آنها و یا ایجاد ترکهای مویی در آنها نخواهد شد.

فصل سوم

34

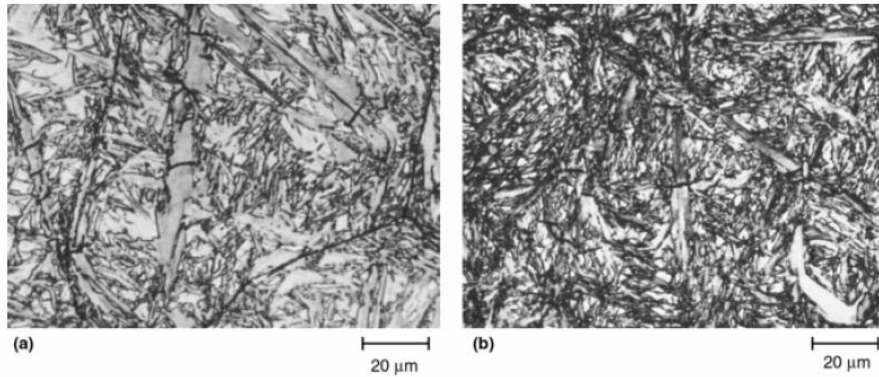
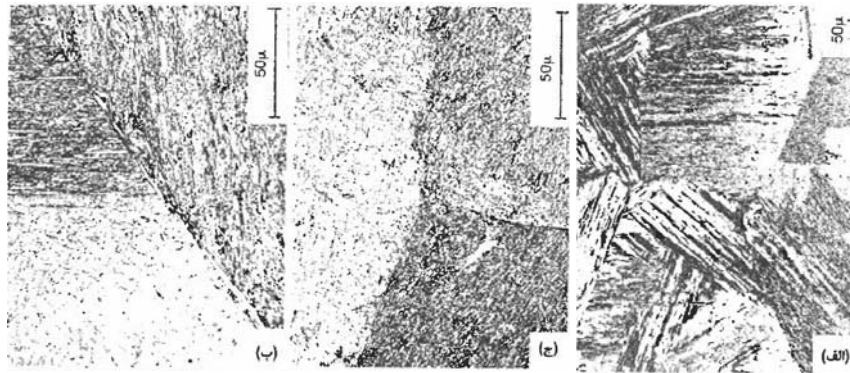


Fig. 16 Plate martensite with microcracks in a matrix of retained austenite. Type 3310H steel, gas carburized 12 h at 925 °C (1700 °F), furnace cooled to 535 °C (1000 °F), and air cooled. (a) 4% picral etch with 0.01% HCl. (b) More heavily etched specimen improves contrast of details in the structure, but the microcracks in the martensite plates have been obscured by the darker etch. 4% picral etch with 0.01% HCl. Both 500×

مارتنزیت لایه‌ای شکل

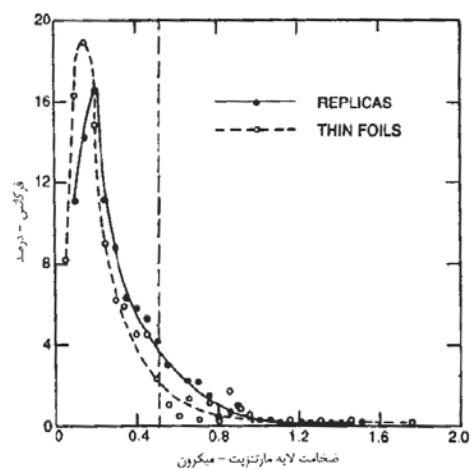
یکی از مشخصه‌های مهم میکروساختار مارتنزیت لایه‌ای شکل، موازی قرار گرفتن تعداد زیادی لایه مارتنزیتی در نواحی وسیعی از دانه‌های آستنیت اولیه است. هرکدام از نواحی یاد شده که از یک سری صفحات موازی تشکیل شده‌اند، به بسته مارتنزیت موسوم است. با کاهش درصد کربن فولاد، تمایل به تشکیل بسته‌های مارتنزیت افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۱۲ میکروساختار مارتنزیت لایه‌ای در فولادهای (الف) $Fe-0.2\%C$ ، (ب) $Fe-0.4\%C$ و (ج) $Fe-0.6\%C$ تصویر میکروسکوپی نوری [۱].

مطالعات نشان

داده‌اند که با کاهش درصد کربن ابعاد لایه‌های مارتنزیت کاهش می‌یابد، به طوری که در مارتنزیت $Fe-0.2\%C$ ضخامت بیشتر لایه‌ها کمتر از حد تشخیص میکروسکوپ نوری (۰/۵ میکرون) است



شکل ۳-۱۳ توزیع ضخامت لایه‌های مارتنزیت در فولاد $Fe-0.2\%C$. خط عمودی مشخص کننده حد تشخیص میکروسکوپ نوری است [۱].

مخلوط مارتنزیت‌های بشقابی و لایه‌ای (مارتنزیت مختلط)

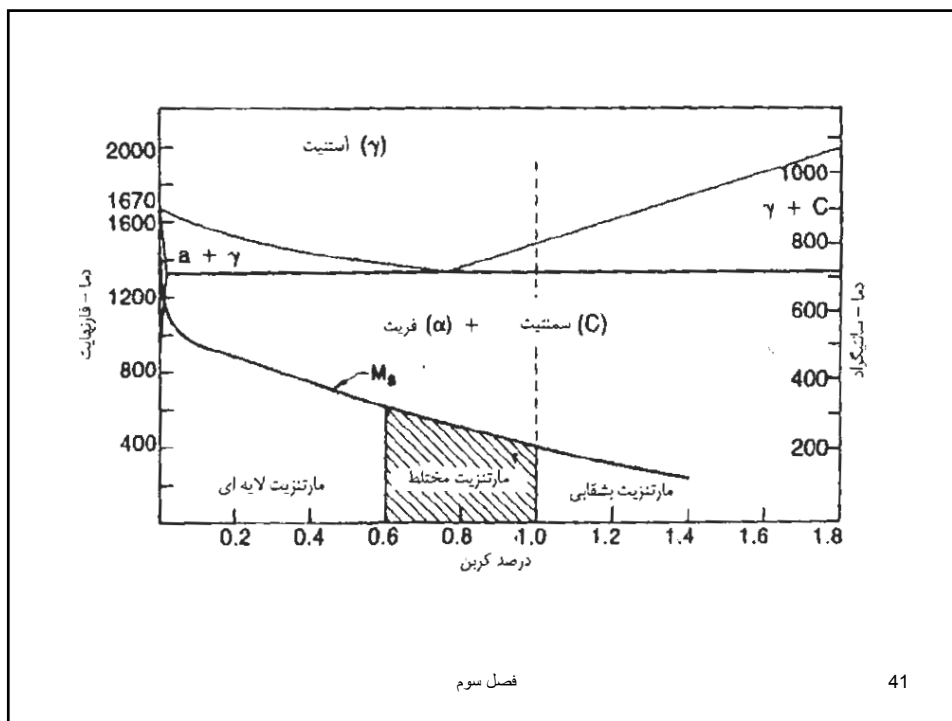
در آلیاژهای آهن-کربن با ۰/۶ تا ۱ درصد کربن، هر دو نوع مارتنزیت لایه‌ای و بشقابی در جوار یکدیگر به وجود می‌آیند. در گستره فوق، با افزایش درصد کربن احتمال تشکیل مارتنزیت بشقابی افزایش می‌یابد.

همچنین، با

افزایش درصد کربن، واحدهای منفرد مارتنزیتی تشکیل شده نیز درشت‌تر می‌شوند. از طرف دیگر، مقدار مارتنزیت لایه‌ای شکل کاهش خواهد یافت.

گزارش شده است که پارامتر تعیین

کننده نوع مارتنزیت، دمای تشکیل آن است. بدین صورت که اگر دمای M_s زیر یک دمای بحرانی باشد، مارتنزیت حاصل عمدتاً از نوع بشقابی است، در غیر این صورت، مارتنزیت لایه‌ای شکل به وجود می‌آید. از آنجایی که دمای M_s یک فولاد توسط درصد کربن آن کنترل می‌شود (شکل ۳-۹)، بنابراین می‌توان گفت که نوع مارتنزیت نیز توسط درصد کربن مشخص می‌شود. از این رو، بر اساس درصد کربن فولاد (از ۰/۶ تا ۱ درصد) یک گستره دمایی برای تشکیل مخلوط مارتنزیت بشقابی و لایه‌ای شکل (مارتنزیت مختلط) وجود دارد. برای فولادهای کربنی ساده گستره دمایی فوق تقریباً بین ۲۰۰ تا ۳۲۰ درجه سانتیگراد است.



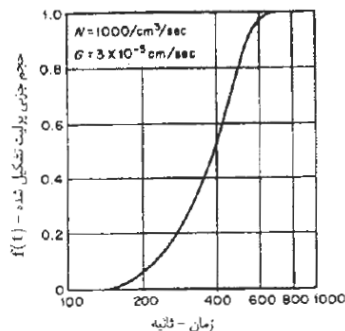
بینیت و دگرگونی بینیتی

بینیت در فولادها در گستره دمایی بین پایینترین دمای تشکیل پرلیت (P_f) و بالاترین دمای تشکیل مارتنزیت (M_s) تشکیل می‌شود.

از جمله مشخصه‌های عمده دگرگونی بینیتی که مطالعه آن را مشکل نموده طبیعت دوگانه آن است. بدین صورت که دگرگونی بینیتی از بعضی جنبه‌ها شبیه به دگرگونی پرلیتی و از برخی جنبه‌ها مشابه دگرگونی مارتنزیتی است.

همانند پرلیت، محصول دگرگونی بینیتی که بینیت نام دارد یک فاز نیست بلکه مخلوطی از دو فاز فریت و سمنتیت است. بنابراین، دگرگونی بینیتی نیاز به تغییر ترکیب شیمیایی دارد و در نتیجه برای انجام آن نفوذ کربن لازم است. از این رو دگرگونی بینیتی از دگرگونی مارتنزیتی کاملاً متمایز می‌شود.

تغییر ترکیب شیمیایی که در ضمن دگرگونی بینیتی انجام می‌شود شامل عناصر آلیازی جانشینی که ممکن است در فولادها وجود داشته باشد، نمی‌شود. به بیان دیگر، توزیع عناصر یاد شده در ضمن تشکیل بینیت تغییر نمی‌کند. بنابراین، می‌توان گفت که درصد عناصر آلیازی یاد شده در فازهای فریت و سمنتیت ثابت و برابر همان ترکیب شیمیایی اولیه آستنیت است. همچنین، تشکیل بینیت احتیاج به زمان دارد و در یک دمای ثابت، چگونگی تغییرات درصد بینیت حاصل از آستنیت برحسب زمان مشابه تشکیل پرلیت است (شکل ۲-۱۰).



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

43

علی‌رغم تشابه‌های پرلیت و بینیت و همچنین دگرگونیهای آنها مکانیزم تشکیل این دو ساختار از یکدیگر متفاوت است. برخلاف پرلیت، محصول حاصل از دگرگونی بینیتی شامل لایه‌های متناوب فریت و سمنتیت نیست. همچنین، قبلاً دیدیم که پرلیت در تمام جهات بنا آهنگ یکسان رشد کرده و سرانجام به شکل کروی درمی‌آید، در حالی که بینیت به صورت صفحه‌ای (که از جمله مشخصه‌های ویژه دگرگونی مارتنزیتی است) رشد می‌کند. در نمونه‌های متالوگرافی شده، بینیت به صورت سوزنی شکل (مشابه مارتنزیت) ظاهر می‌شود. همچنین، تشکیل صفحات بینیت همراه با اعوجاج سطحی است. بنابراین، احتمال زیاد می‌رود که تشکیل صفحات بینیتی شامل برش شبکه‌ای باشد.

لیکن، یک اختلاف اساسی بین تشکیل واحدهای

مفرد بینیت و مارتنزیت وجود دارد و آن عبارت از آهنگ تشکیل آنهاست. معمولاً صفحات مارتنزیتی تحت تأثیر نیروی محرکه زیاد تشکیل می‌شوند. بنابراین، در کسر کوچکی از ثانیه تا اندازه نهایی خود رشد می‌کنند. در حالی که صفحات بینیتی به طور آهسته و پیوسته رشد می‌کنند. ظاهراً به علت زمان نسبتاً زیاد برای نفوذ، رشد صفحات بینیتی به تأخیر می‌افتد.

با توجه به پیچیدگی دگرگونی بینیتی، عدم وجود توافق کلی در رابطه با مکانیزم تشکیل بینیت، تعجب‌آور نیست.

یکی از نظریه‌های مربوط به دگرگونی بینیتی می‌گوید که تشکیل بینیت اساساً ناشی از یک دگرگونی شبیه به دگرگونی مارتنزیتی است که در آن فریت از استنیت به وجود می‌آید. در این نظریه آمده است که فریت موجود در ورقه‌های بینیت احتمالاً در محل‌هایی از شبکه که در اثر نوسانات حرارتی درصد کربن آن کاهش پیدا کرده جوانه می‌زند. لازم به اشاره است که غلظت کربن در هر حجم بسیار کوچکی از شبکه ثابت نیست بلکه، در اثر نوسانات حرارتی همواره در حال تغییر است. بنابراین، قابل قبول است که در هر لحظه محل‌هایی در شبکه وجود داشته باشند که درصد کربن آنها به اندازه کافی از حد متوسط کمتر باشد.

بر اساس میکروساختارها، دو شکل عمده بینیت وجود دارد، یکی بینیت بالایی^۱ یا بینیت پر شکل^۲ که در گستره دمایی درست زیر دمای تشکیل پرلیت به وجود می آید و دیگری بینیت

پایینی^۳ یا بینیت سوزنی شکل^۴ که در دماهایی نزدیک دمای M_s تشکیل می شود.

۱- Upper bainite

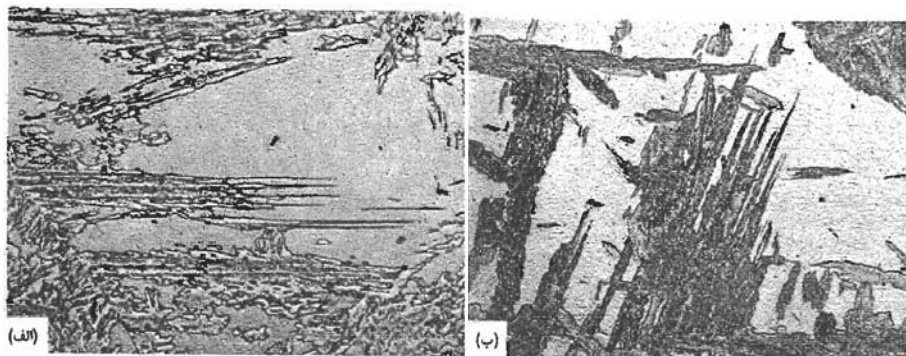
۲- Feathery bainite

۳- Lower bainite

۴- Acicular bainite

بینیت بالایی

میکروساختار بینیت بالایی در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است. در این شکل نواحی تیره رنگ بینیت و زمینه سفیدرنگ آستنیت باقیمانده در دمای تشکیل بینیت بوده که در اثر سریع سرد شدن به مارتنزیت تبدیل شده است.



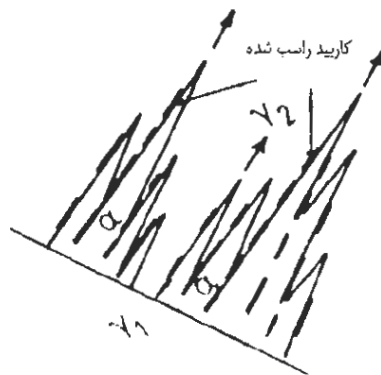
شکل ۳-۱۴ بینیت بالایی در فولاد ۴۳۶۰ که (الف) در ۴۹۵ درجه سانتیگراد و (ب) در ۴۱۰ درجه سانتیگراد در دمای ثابت تشکیل شده است. میکروساختار نوری، محلول حکاکی پیکرال.

بزرگنمایی $\times 750$ [۱].

علت تیره ظاهر شدن بینیت در زیر میکروسکوپ، به دلیل

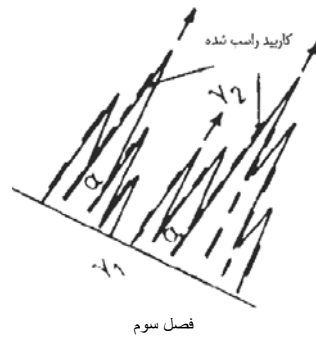
ناهمواریه‌های حاصل از حکاکی فریت در اطراف ذرات ریز سمنتیت است. سمنتیت در این ساختار به قدری ریز است که با میکروسکوپ نوری قابل تشخیص نیست. در این شکل، ظاهر پر شکل بینیت که از جمله مشخصه‌های ویژه و مهم بینیت بالایی است، به خوبی مشخص است.

اولین مرحله دگرگونی تشکیل بینیت بالایی، عبارت از تشکیل صفحاتی از فریت است (شکل ۳-۱۵) که در مقیاس کوچکتر کاملاً شبیه به صفحات فریت ویدمن اشتاتن است.

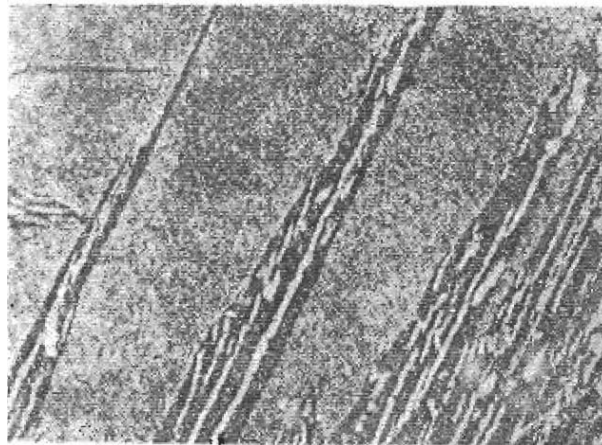


شکل ۳-۱۵ شمایی از رشد بینیت بالایی. با رشد فریت میزان کربن در فصل مشترک آن با آستنیت افزایش یافته تا اینکه شرایط برای تشکیل سمنتیت مناسب شود. در این لحظه سمنتیت در فصل مشترک فریت - آستنیت تشکیل می‌شود [۱۴].

صفحات فریت می‌توانند در مرز دانه‌های آستنیت اولیه و یا در داخل دانه‌ها به وجود آیند. با رشد صفحات فریت و در نتیجه خارج شدن کربن از آنها آستنیت باقیمانده در نواحی مجاور از کربن اشباع شده و در نتیجه سمنتیت در فصل مشترک فریت - آستنیت جوانه می‌زند (شکل ۳-۱۵). پس از پایان دگرگونی همدمما، میکروساختار شامل زمینه فریتی است که ذرات ریز سمنتیت در مرزهای فرعی و در جهت طولی صفحات فریت رسوب کرده‌اند



51



شکل ۳-۱۶ بینیت بالایی در فولاد کربنی ساده با کربن متوسط - میکروساختار الکترونی

فصل سوم

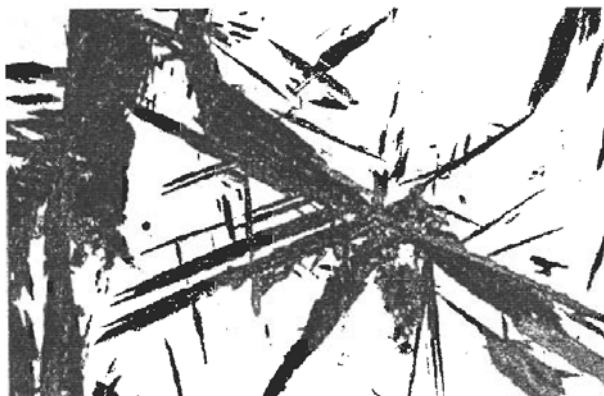
52

هر چه

دمای دگرگونی تشکیل بینیت کمتر باشد (ولی در گستره دمایی تشکیل بینیت بالایی قرار داشته باشد) و یا اینکه درصد کربن بیشتر باشد، صفحات فریت ظریفتر است. همچنین با افزایش درصد کربن، پیوستگی رشته‌های باریک سمنتیت در مرزهای فرعی بیشتر خواهد شد.

بینیت پایینی

از جمله مشخصه‌های ویژه بینیت پایینی ظاهر سوزنی شکل آن است.



شکل ۳-۱۷ بینیت پایینی در فولاد ۴۳۶۰ که در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده است. میکروساختار نوری، محلول حکاکی پیکرال. بزرگنمایی x ۷۵۰ [۱].

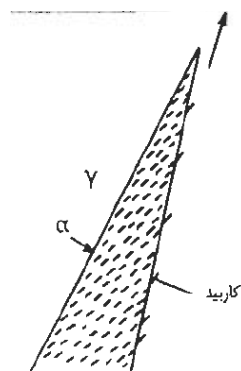
در حقیقت، سوزنهای فوق عبارت‌اند از مقاطع

صفحات بزرگ بینیتی با صفحه پولیش که شباهت زیادی به صفحات مارتنزیتی در فولادهای پرکربن دارند. مجدداً در اینجا ناحیه تیره رنگ بینیت و زمینه سفید رنگ آستنیت باقیمانده در دمای دگرگونی تشکیل بینیت بوده که در اثر سریع سرد کردن به مارتنزیت تبدیل شده است. در اینجا نیز کاربیدهای موجود در صفحات بینیتی باعث تیره رنگ جلوه دادن آنها می‌شود، ولی به قدری ریزند که امکان تشخیص آنها توسط میکروسکوپ نوری وجود ندارد.

همانند بینیت بالایی، در اینجا نیز اولین مرحله تشکیل بینیت پایینی عبارت از به وجود آمدن صفحات فریت از آستنیت است. از آنجایی که نفوذ کربن در گستره دمایی تشکیل بینیت پایینی بسیار کم است، صفحات فریت یاد شده بسیار نازک‌اند.

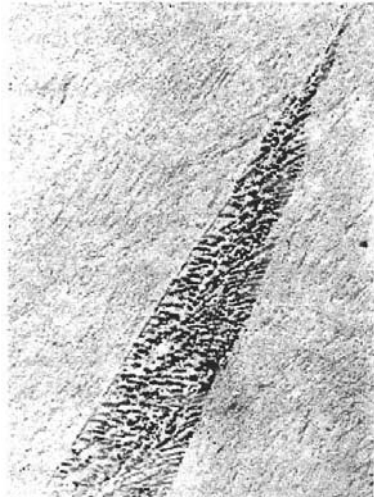
با رشد فریت، کربن در سطح

وسعی از فصل مشترکهای تیغه‌های فریت و آستنیت جمع شده و پس از اینکه به حالت فوق اشباع رسید، سمنتیت تشکیل می‌شود. در اینجا برخلاف بینیت بالایی، سمنتیت به جای تشکیل در بین صفحات فریت، در داخل خود صفحات و تحت زاویه ۵۵ درجه با محور طولی صفحات فریت تشکیل می‌شود



شکل ۳-۱۸ شمایی از رشد بینیت پایینی و ارتباط محور طولی صفحات فریت با رسوبات کاربید

در مقایسه با سمنتیت مربوط به بینیت بالایی، سمنتیت در بینیت پایینی بسیار ریزتر است. در شکل ۱۹-۳ که یک میکروساختار الکترونی از بینیت پایینی است، نحوه توزیع ذرات سمنتیت و ارتباط آنها با محورهای طولی صفحات فریت کاملاً مشهود است.



57

شکل ۱۹-۳ بینیت پایینی در فولاد کربنی ساده با ۰/۶۹ درصد کربن. میکروساختار الکترونی

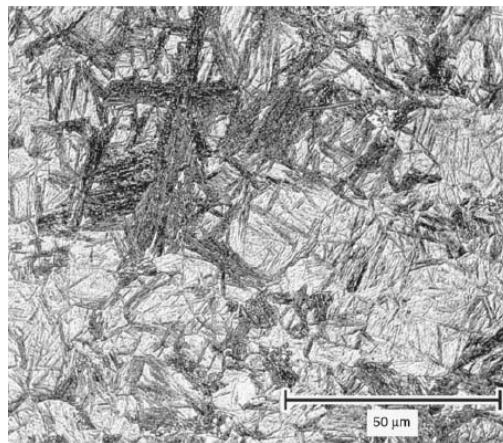


Fig. 3 Microstructure of quenched and tempered low-alloy UNS G43400 steel showing a mixture of bainite (dark etching constituent) and martensite (lighter gray). 4% picral + 2% nital etch. Original magnification 500×

فصل سوم

58

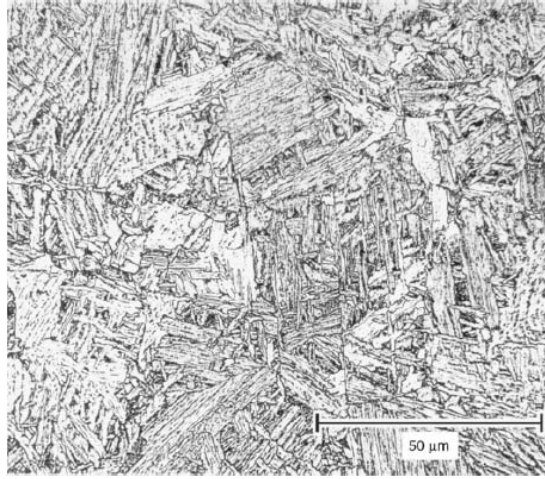


Fig. 14 Microstructure of heat treated low-alloy steel showing bainite. 4% picral + 2% nital etch. Original magnification 500×

فصل سوم

59

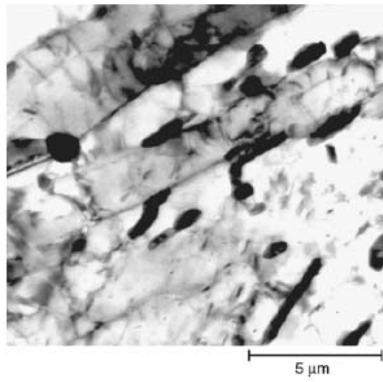


Fig. 15 Microstructure of upper bainite as seen in the transmission electron microscope. Note the carbides in the ferrite lath boundaries. Thin foil. Original magnification 5500×

فصل سوم

60

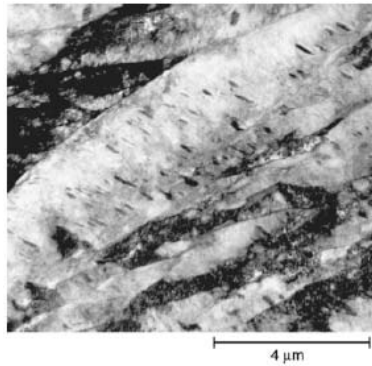


Fig. 16 Microstructure of lower bainite as seen in the transmission electron microscope. Note the carbides at a discrete angular orientation within the ferrite laths. Thin foil. Original magnification 8000×

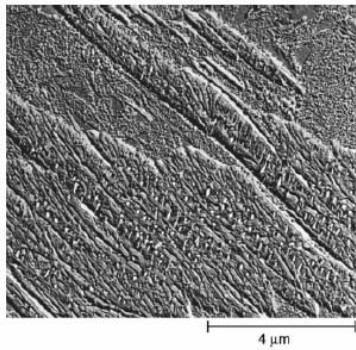


Fig. 17 Microstructure of lower bainite as seen in a carbon replica examined in the transmission electron microscope. As in Fig. 16, the carbides are at a discrete angular orientation within the ferrite laths. Original magnification 8000×