http://mechanics.journals.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

دوره ۱۱ شماره ۱ بهار ۱۳۹۰ ص ص ۵۱-۵۹

تاریخچه مقاله:
دریافت ۸۹/۶/۲۲
پذیرش ۹۰/۳/۱۹
ارائه در سایت ۹۰/۳/۲۸

استفاده از روش نشر فراآوایی در تحلیل فرآیند گسیختگی و شکست فولادهای دوفازی

علیرضا فلاحی[۱]، رامین خامدی[۲*]، امیر شریفی[۳]، حسن ابراهیم‌نژاد[۴]

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- استادیار مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان
۳- پژوهشگر، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴- پژوهشگر، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
*زنجان، صندوق پستی ۴۵۳۷۱۳۸۱۱۱. r.khamedi@gmail.com

چکیده- در این مقاله دیدگاه جدیدی درباره ارتباط نشر فراآوایی(آکوستیک امیشن) و رفتار مکانیکی فولادهای دوفازی فریت-مارتنزیتی با درصدهای مختلف حجمی مارتنزیت ارائه شده است. بدین منظور، نمونه‌های فولاد دوفازی با درصدهای حجمی ۱۲-۶۵٪ تهیه شده و با انجام آزمون کشش بر روی نمونه‌های فولاد دوفازی با درصدهای مختلف مارتنزیت، اثر وجود مقادیر مختلف مارتنزیت بر سیگنالهای نشرفراآوایی مورد بررسی قرار گرفته است. بمنظور انجام تحلیل دقیق‌تر، از تابع جدیدی (تابع محافظ) برای برقراری ارتباط بین اطلاعات فراآوایی و مکانیکی استفاده شده است. در حقیقت این تابع بستگی به میزان انرژی کرنش و انرژی فراآوایی داشته و به‌منظور نمایان ساختن رفتار این نوع از فولادها در حین آزمایش کشش مورد استفاده قرار گرفته است. یافته‌ها، نشان می‌دهد که با افزایش درصد مارتنزیت، مکانیزم شکست مارتنزیت (علاوه بر جدایش فازهای فریت و مارتنزیت از یکدیگر) سهم قابل توجهی در شکست فولاد دوفازی پیدا می‌کند و نتایج این کار افق جدیدی را در رابطه با کاربرد تابع مذکور در نمایان ساختن رفتار ریزساختاری این مواد در حین آزمونهای مکانیکی با روش مذکور ایجاد می‌کند.

کلیدواژگان: فولاد دوفازی - نشر فراآوایی – میکرومکانیزم‌های شکست – فریت – مارتنزیت.

Using acoustic emission method for analysis of failure and fracture process of dual phase steels

A. R. Fallahi[1], R. Khamedi[2*], A. Sharifi[3], H. Ebrahinmnejad[4]

1- Associate Professor, Mechanical Eng Department, Amirkabir University of Tech.
2- Assistant Professor, Mechanical Eng, Engineering Department, University of Zanjan
3- Researcher, K. N. Toosi U Univ. of Technology, Mechanical Eng Department
4- Researcher, K. N. Toosi Univ. of Technology, Mechanical Eng Department
*P.O.B. 4537138111, Zanjan, Iran. khamedi@gmail.com

Abstract-In this paper a new approach about relation of Acoustic Emission(AE) method and mechanical properties of ferrite-martensite dual phase steels(DPS) has presented. The AE signals from a tensile test using a range of DPS with different volume fractions of martensite (VM)s, in the range of 12–65% VM, were obtained and their AE signals were investigated. In order to better study DPS internal behaviour, a function named "sentry function" was used. The amount of this function depends on the strain energy and acoustic emission energy. the Results show that AE monitoring and sentry function are efficient tools for detection of micromechanisms, consisting of Ferrite-Martensite interface decohesion and/or martensite phase fracture, identifying the correlation of failure mechanisms to microstructure in DPS.

Keywords: Dual Phase Steel- Acoustic Emission- Fracture Micromechanisms- Ferrite- Martensite.

۱- مقدمه

نشرفراآوایی طبق تعریف موسسه آزمون و مواد آمریکا (ASTM) به کلاسی از پدیده‌های دینامیکی اطلاق می‌شود که در آنها امواج الاستیک گذرا بدلیل آزاد شدن سریع انرژی در منابع موضعی و ایجاد تغییر شکل دائم در مواد تحت تنش بوجود می‌آیند[۱]. تاکنون کارهای بسیاری در زمینه شناسایی مکانیزم شکست، خستگی، خوردگی و تبدیل فازهای فولادهای مختلف با این روش انجام شده است[۱]. هیپل و همکارش[۲] حداکثر دامنه سیگنالهای فراآوایی را در منطقه تسلیم در شروع تغییرشکل پلاستیک بر اثر حرکت تعداد زیاد نابجایی عنوان کردند؛ ولی لانگ و همکارش[۳] نشان دادند که بعد از شروع تسلیم به دلیل کاهش سرعت نابجاییها، حداکثر دامنه سیگنالهای فراآوایی به طور پیوسته کاهش می‌یابد.

لانگ و همکارش[۳]، برای اولین بار اثر وجود فاز مارتنزیت را در میزان نرخ انرژی فراآوایی آزاد شده در حین تغییرشکل فولادهای دوفازی مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آنها حاکی از وجود نوعی از سیگنالهای فراآوایی، متفاوت از سیگنالهای فراآوایی فولادهای دیگر بود. در این کار تحقیقاتی، آنها عملیات حرارتی‌های مختلفی را بر روی دو نوع فولاد انجام دادند و این سیگنالهای متفاوت را به شکست فاز مارتنزیت و یا جدایش مارتنزیت از زمینه فریت نسبت دادند. در نتایج ذکر شده در مقاله آنها میزان سرعت خنک کردن در حین عملیات حرارتی که باعث ایجاد درصدهای مختلف حجمی مارتنزیت (Vm) می‌شود، عامل ایجاد سیگنالهای متفاوت است. سالها بعد لی و همکارانش[۴] نیز این سیگنالهای متفاوت را در کار تحقیقاتی خود مشاهده کردند. آنها نیز نشان دادند که یکی از منابع اصلی ایجاد سیگنالهای فراآوایی در این نوع از فولادها، جدا شدن لایه‌های فریت-مارتنزیت و/یا شکست فاز مارتنزیت است. در هیچ‌یک از تحقیقات انجام شده راجع به این نوع از فولادها، سیگنالهای ساتع شده به یک عامل خاص نسبت داده نشده است. کومار و همکارانش نیز[۵] عنوان کردند که مطالعات بسیار کمی در راستای ارتباط سیگنالهای فراآوایی و مناطق مختلف منحنی‌های بارگذاری-تغییرشکل انجام شده است.

در تحقیق حاضر با مطالعه دقیق مکانیزمهای تغییرشکل و شکست فولادهای دوفازی و استناد به کارهای قبلی نگارندگان، ارتباط بین این مکانیزمها و پارامترهای فراآوایی و همچنین تابع جدیدی به نام تابع محافظ بررسی شده است.

۱-۱- مکانیزمهای تغییرشکل و شکست فولادهای دوفازی

تاکنون مطالعات بسیاری بر روی این نوع فولادها انجام شده است و به نتایج قابل توجهی از خصوصیات این فولادها از جمله: بالا بودن نمای کارسختی،استحکام و چقرمگی بالا و قابلیت شکل‌پذیری مناسب می‌توان اشاره کرد. فولادهای دوفازی اصولاً فولادهای کم‌کربنی هستند که شامل مقدار قابل توجهی منگنز(۲-۱ درصد وزنی) و تا ۱/۵ درصد سیلیسیوم و همچنین مقادیر کمی از عناصر میکروآلیاژی مثل وانادیوم، تیتانیوم، مولیبدن و نیکل هستند[۷،۶]. خواص و رفتار مکانیکی منحصربفرد فولادهای دوفازی را می‌توان به ریزساختار آنها ارتباط داد. فولاد دوفازی با گرم کردن یک فولاد کم‌کربن میکروآلیاژشده تا دمای ناحیه دوفازی ($\alpha+\gamma$) بین دماهای A1 و A3 و سپس سرد کردن سریع آن برای تبدیل استنیت به مارتنزیت ساخته می‌شود[۷]. به محض سرد کردن سریع، اکثر استنیت‌ها تبدیل به مارتنزیت می‌شوند، ولی اگر سرعت خنک‌کاری به اندازه کافی بالا نباشد، مقداری از آن تبدیل به فریت می‌شود[۸]. از این گذشته، بسته به میزان سرعت خنک‌کاری، مقداری از استنیت می‌تواند تبدیل به بینیت شود. به محض سرد کردن سریع فولاد دوفازی، به دلیل انبساط حجمی مارتنزیت، تنش پسماند در فصل مشترک فریت-مارتنزیت بوجود

می‌آید[۷]. این موضوع باعث افزایش تعداد نابجاییها در فریت می‌شود[۷]. مقادیر مختلف Vm را با حرارت دادن در دماهای مختلف ناحیه($\alpha+\gamma$) و سپس سرد کردن سریع می‌توان بدست آورد. همچنین مورفولوژی مارتنزیت به شدت به ساختار اولیه فولاد بستگی دارد[۸]. با عملیات سرد کردن سریع مرحله‌ای[1](نگهداری در منطقه استنیت و خنک کردن تا منطقه دوفازی($\alpha+\gamma$) و سپس سرد کردن سریع) و یا سرد کردن سریع میانی[2](گرم کردن تا منطقه استنیت و سرد کردن سریع و سپس گرم کردن تا منطقه دوفازی($\alpha+\gamma$) و سپس سرد کردن سریع) نیز به ترتیب می‌توان به مارتنزیت با مورفولوژی‌های درشت هم‌محور یا ریز رشته‌ای دست یافت. از خصوصیات مهم فولادهای دوفازی این است که تنش تسلیم $\sigma_{0.2}$ بیشتر تابع Vm بوده و کمتر به مقدار کربن فاز سخت بستگی دارد[۹]. در فولادهای دوفازی تسلیم پیوسته، نمای کارسختی اولیه بالا و نسبت تنش تسلیم به استحکام کششی پایین ($Y.S/UTS$)دیده می‌شود. با عملیات حرارتی در ناحیه دوفازی ($\alpha+\gamma$) و سپس سرد کردن سریع آن، به دلیل تبدیل فاز استنیت به مارتنزیت و افزایش حجم فاز مارتنزیت، در فاز فریت نابجاییهای متحرک و تنش پسماند بوجود آمده و همین مساله باعث تغییر شکل مومسان پیوسته و تنش تسلیم پایین این نوع از فولادها می‌باشد[۱۰]. این موضوع در فولادهای کم کربن معمول نیست. بسیاری از محققان شکست فولادهای‌دوفازی را شکست نرم ذکر کرده‌اند. مشاهدات بسیاری از محققان حاکی از جوانه زنی ترک از فاز مارتنزیت و فصل مشترک فازهای فریت و مارتنزیت است. بالیگر و گلدمن[۹]، تاکید کردند که جوانه‌زنی ترک در محل شکست فاز مارتنزیت بوجود می‌آید. گربیس و همکارانش[۱۱] جوانه‌زنی ترک را در فصل مشترک فازهای فریت و مارتنزیت مشاهده کرده‌اند. اسپیچ و میلر[۱۲] مشاهده کردند که در Vm پایین، ایجاد حفره‌ها فقط در محل جدایش فصل مشترک فازهای فریت و مارتنزیت اتفاق افتاده و در Vm بالا (تا ۶۰٪)، هر دو مکانیزم محل ایجاد حفره‌ها را تعیین می‌کنند.

1. Step Quench
2. Intermediate Quench

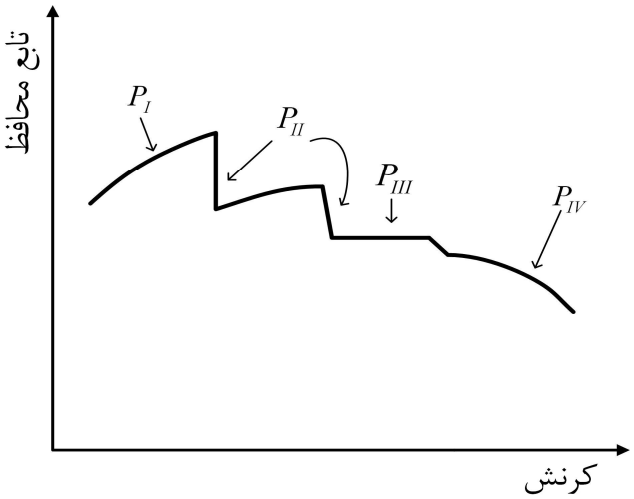
۱-۲- تابع محافظ

بمنظور آنالیز دقیق‌تر رفتار ریزساختاری این نوع از فولادها در حین تغییرشکل، از تابعی برای ترکیب اطلاعات انرژی مکانیکی و انرژی فراآوایی به نام تابع محافظ [۱۳-۱۵] استفاده شد. این تابع بصورت لگاریتم نسبت انرژی کرنشی Es بر انرژی فراآوایی Ea بیان می‌شود:

$$f(x)=\ln\left(\frac{E_s(x)}{E_a(x)}\right) \qquad (۱)$$

که x در این تابع متغیر آزمون می‌باشد(معمولاً کرنش یا زمان)

این تابع یک توازن بین انرژی ذخیره شده کرنشی و انرژی فراآوایی به دلیل خرابی ایجاد می‌کند. تابع $f(x)$ یک تابع ناپیوسته است و به صورت ترکیبی از چهار نوع تابع می‌تواند بیان شود که در شکل۱ نشان داده شده است. (I) تابع صعودی، (II) تابع یکمرتبه نزولی، (III) تابع ثابت و (IV) تابع نزولی.



شکل ۱ تابع محافظ بر حسب کرنش

۲- روشهای تجربی

ترکیب شیمیایی فولاد استفاده شده در این تحقیق در جدول شماره ۱ مشخص شده است.

نمونه‌های استاندارد کشش ساخته شده با طول سنجه ۳۵ میلیمتر در مرحله بعد تحت عملیات حرارتی‌های تعریف شده قرار گرفتند. طبق رابطه ارائه شده در [۱۶]، با توجه به ترکیب شیمیایی فولاد مقادیر A1 و A3 به ترتیب برابر با $۷۰۹^{\circ}C$ و $۸۵۰^{\circ}C$ در نظر گرفته شد و دماهای میان بحرانی $۷۳۰^{\circ}C$، $۷۶۰^{\circ}C$، $۷۹۰^{\circ}C$ و $۸۲۰^{\circ}C$ برای عملیات حرارتی‌های مختلف در نظر گرفته شد که به اختصار این نمونه‌ها در مقاله به ترتیب IA730، IA760، IA790 و IA820 نامیده می‌شوند. عملیات متالوگرافی انجام شد و از هر نمونه ۳۰-۲۰ عکس تهیه شده و با نرم‌افزار Image Proplus 4.5.1.29 مورد تحلیل قرار گرفتند. در این تحلیل‌ها میزان مارتنزیت در هر یک از نمونه‌ها بدست آمده و سپس میانگین این کمیت‌ها بدست آمد. علاوه بر نمونه‌های فوق، به‌منظور تحقیق در مورد اثر فاز فریت و مارتنزیت به طور مستقل بر سیگنالهای فراآوایی، نمونه‌های استاندارد کشش فریتی و فولاد C40 نیز مورد آزمون قرار گرفتند. نمونه فولاد C40 در دمای $۹۲۰^{\circ}C$ قرار داده شده و بعد از مدت یک ساعت در مخلوط یخ و آب نمک با دمای $-۸^{\circ}C$ سریعاً سرد شد. نمونه بدست آمده دارای ساختار مارتنزیت سوزنی بوده و درصد بالایی از این فاز را دارا بود. در شکل ۲ نمونه‌های متالوگرافی نشان داده شده است. نمونه‌های دوفازی به ترتیب دارای ۱۲، ۳۴، ۴۹ و ۶۵ درصد مارتنزیت می‌باشند.

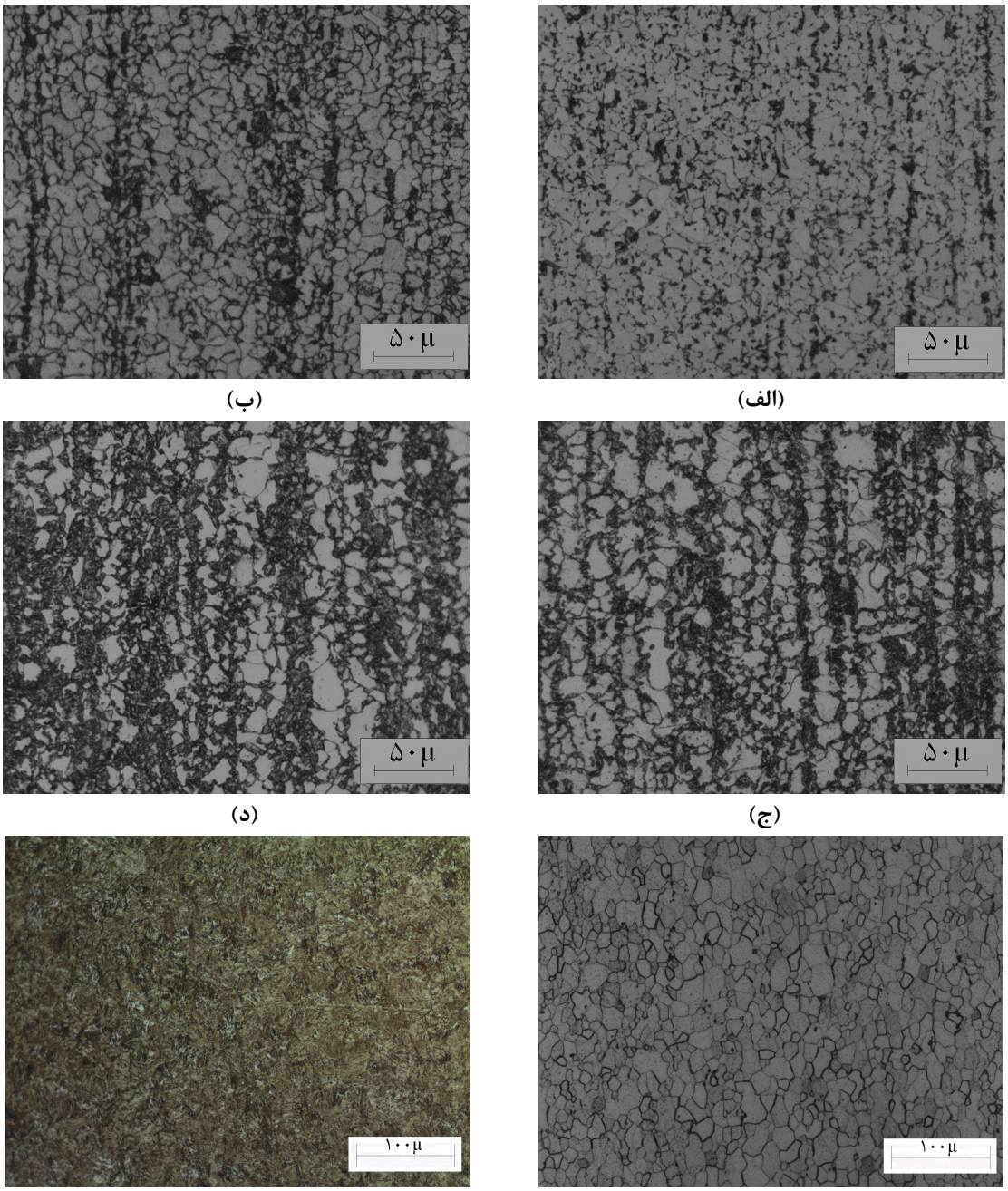
آزمون کشش در این با دستگاه Instron8032 با ظرفیت ۲۵۰ kN با سرعت ۰/۰۵ mm/sec انجام شد. ضبط اطلاعات فراآوایی با سیستم نشر فراآوایی PAC-PCI-DSP4 با ظرفیت بکارگیری چهار سنسور انجام شد. این سیستم از بخشهای مختلفی تشکیل شده که همگی توسط شرکت PAC طراحی و ساخته شده‌اند که از نظر سازگاری تجهیزات قابلیت اطمینان مناسبی وجود دارد. سنسور مورد استفاده از نوع PAC Nano30 بوده که دارای طیف فرکانس عملکردی ۱۰۰-۱۰۰۰ کیلوهرتز می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

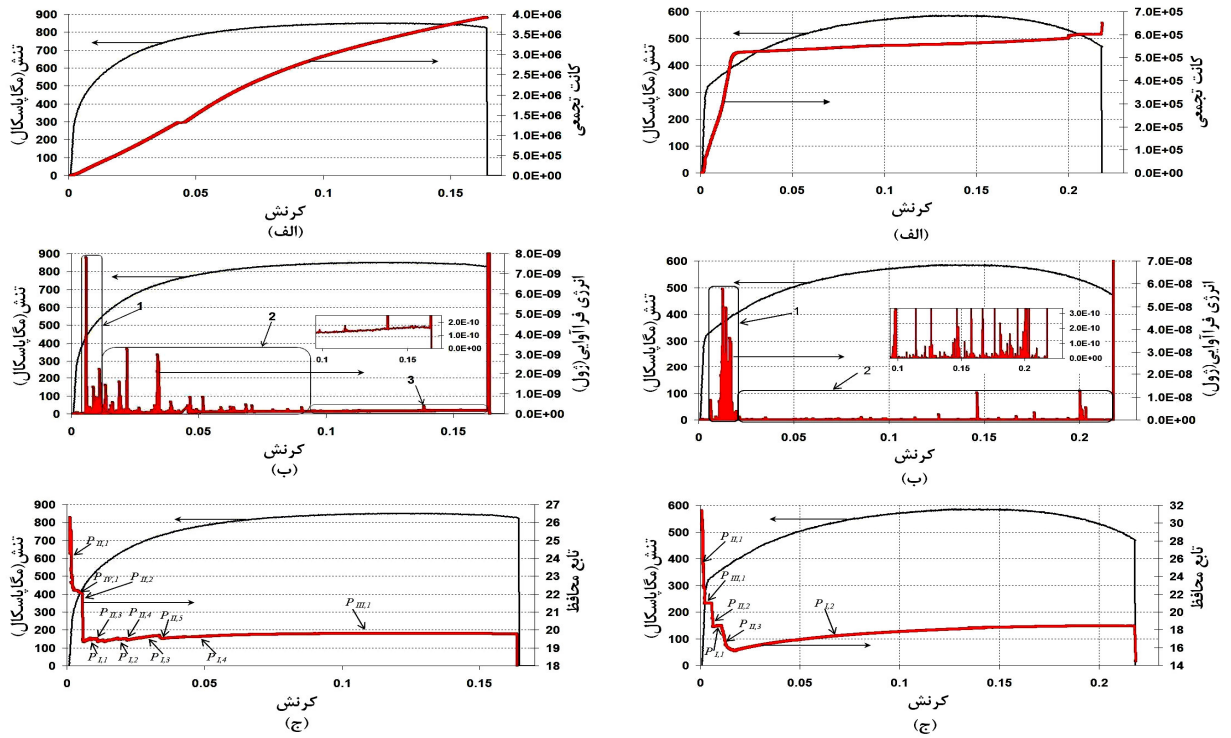
شکلهای ۳ و ۴ نتایج این آزمونها را نشان می‌دهد. با توجه به شکلهای ۳ و ۴، مشخص است که با افزایش Vm، بیشینه انرژی فراآوایی کاهش می‌یابد و در عوض کانت تجمعی به طور محسوس افزایش پیدا می‌کنند. بیشینه انرژی فراآوایی در تمام نمونه‌ها (۵×۱۰^{-۸}-۲×۱۰^{-۱۰}) ژول بوده و در محدوده تسلیم رخ می‌دهد. در نمونه با Vm برابر با ۶۵٪، فاز مارتنزیت بصورت شبکه متصل به هم بوده و فریت فاز پیوسته نیست، به همین دلیل افت انرژی محسوس نسبت به نمونه‌های دیگر مشاهده می‌شود. کاهش میزان انرژی فراآوایی در حین تسلیم می‌تواند بدلیل کاهش فاصله آزاد حرکت نابجاییها بواسطه وجود مقدار بیشتر Vm باشد. با توجه به نمودار کانت تجمعی در نمونه IA730 مشخص است که مقدار کانت تجمعی در تسلیم به طور قابل ذکری زیاد می‌شود و بعد از تسلیم با شیب بسیار کمتری افزوده می‌شود. این حالت با رفتار نمونه فریتی قابل مقایسه است. در حقیقت در این نمونه به دلیل کم بودن میزان Vm، فاز فریت رفتار این نمونه را کنترل می‌کند. در نواحی مشخص شده با شماره ۳ در نمودارهای مربوط به انرژی فراآوایی (نمودارهای (ب))، میزان انرژی در حدود ۲×۱۰^{-۱۰} ژول می‌باشد و این میزان برابر با انرژی آزاد شده از مارتنزیت است[۱۷]. این در حالیست که فقط در نمونه IA730 این قسمت وجود ندارد. در این نمونه میزان Vm پایین بوده و به تبع آن میزان کربن فاز مارتنزیت بالا می‌باشد و به همین دلیل این فاز دارای سختی بالایی بوده [۱۶] و در آزمونهای کشش دچار شکست نمی‌شود.

جدول ۱ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده(درصد وزنی)

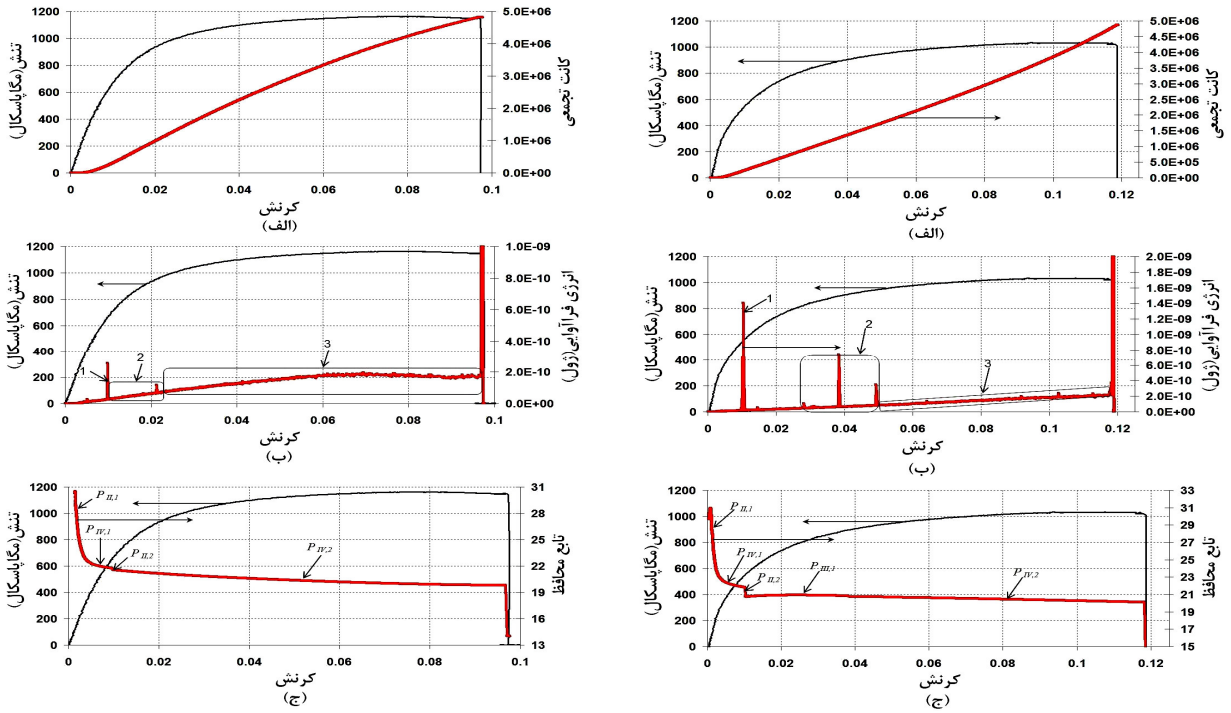
C	Mn	Si	Al	Nb	P	S	Fe
۰/۰۹۳۶	۱/۲۹۳۷	۰/۰۱۲۷	۰/۰۳	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۵۸	Bal.



شکل ۲ نمونه‌های متالوگرافی شده، الف: IA730، ب: IA760، ج: IA790، د: IA820، ه: فریت، و: مارتنزیت



شکل ۳ نمودار تنش-کرنش در نمونه IA730 (شکل سمت چپ) و نمونه IA760 (شکل سمت راست) و کانت تجمعی (الف)، انرژی فراآوایی (ب) و تابع محافظ (ج)

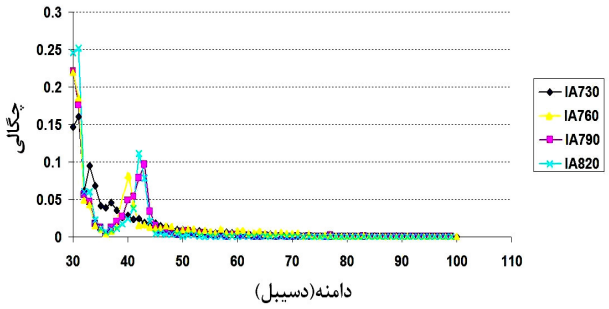


شکل ۴ نمودار تنش-کرنش در نمونه IA790 (شکل سمت چپ) و نمونه IA820 (شکل سمت راست) و کانت تجمعی (الف)، انرژی فراآوایی (ب) و تابع محافظ (ج)

نکته قابل توجه در رفتار تابع محافظ می‌باشد. در حین تسلیم در تمامی نمونه‌ها این منحنی حالت نزولی دارد و این موضوع به دلیل مقدار قابل توجه انرژی فراآوایی در ناحیه تسلیم است. همانطور که در تابع محافظ نمونه IA730 دیده می‌شود. بعد از تسلیم این منحنی حالت صعودی به خود می‌گیرد و این موضوع به دلیل کم بودن نسبت انرژی نشر فراآوایی به انرژی کرنشی است. در حقیقت تخریب قابل توجهی در نمونه بعد از تسلیم رخ نمی‌دهد. این موضوع می‌تواند به دلیل عدم وجود مکانیزم خرابی نظیر شکست مارتنزیت در این نمونه باشد. در نمونه IA760 رفتاری متفاوت دیده می‌شود. در این نمونه پس از افت قابل توجه میزان تابع محافظ در حین تسلیم و چند افت و خیز بسیار کم بعد از تسلیم، تابع حالت ثابت پیدا می‌کند و این موضوع نشانگر تعادل بین انرژی نشر فراآوایی و انرژی کرنشی است. در حقیقت نسبت به حالت قبل میزان انرژی فراآوایی بیشتر شده است. این موضوع می‌تواند به مکانیزمهای بیشتر خرابی در این نمونه نسبت به حالت قبل مربوط باشد. در شکلهای مربوط به نمونه‌های IA790 و IA820، رفتار تابع محافظ تقریباً شبیه یکدیگر است. در هر دو مورد در محدوده تسلیم افت نسبتاً زیادی در این نمودارها مشاهده می‌شود. ولی تفاوت این دو نمودار تا حدودی در رفتار پس از تسلیم آنهاست. تابع محافظ در نمونه IA790 پس از تسلیم در بازه کمی ثابت شده و پس از آن با شیب کمی حالت نزولی دارد ولی تابع محافظ در نمونه IA820 بعد از تسلیم به طور مشهود حالت نزولی دارد. این رفتار در هر دو نمودار نشانگر نسبت بیشتر رفتار نشر فراآوایی نسبت به انرژی کرنشی است. این رفتار در نمونه IA820 بیشتر از نمونه IA790 می‌باشد. در حقیقت این موضوع می‌تواند ارتباط مستقیم با مکانیزمهای خرابی بیشتر در این نمونه‌ها با میزان Vm بیشتر داشته باشد. در مورد دامنه‌ها با توجه به اینکه در نمونه‌های فریتی دامنه سیگنالهای فراآوایی حدود ۳۰ تا ۴۰ دسی‌بل است. شکست مارتنزیت نیز دارای دامنه فراآوایی حدود ۴۵-۴۰ دسی‌بل است. دامنه مربوط به جدایش فازهای فریت- مارتنزیت بسیار بیشتر است[۴]. با افزایش Vm، این پراکندگی اندازه دامنه‌ها کمتر می‌شود و به طور مشخص، بعد از تسلیم چگالی دامنه‌ها در محدوده ۴۵-۴۰ دسی‌بل بیشتر می‌شود. این موضوع می‌تواند نشانگر نوع مکانیزم خرابی در هر یک از نمونه‌ها باشد. شکل ۵ توزیع دامنه در نمونه‌های IA را نشان می‌دهد. در این شکل بطور مشخص، در نمونه IA730، بیشینه چگالی در دامنه ۳۱ دسی‌بل است و این بیشینه چگالی دارای یک بیشینه نسبی دیگر بین ۳۰-۴۰ دسی‌بل است. این چگالی با افزایش دامنه کمتر می‌شود. ولی در نمونه‌های دیگر بیشینه نسبی دوم بین ۳۹-۴۵ دسی‌بل بوده و با افزایش Vm، این چگالی نیز بیشتر می‌گردد. با توجه به دامنه سیگنالهای نشر فراآوایی مربوط به شکست مارتنزیت(یعنی بین ۳۹-۴۵ دسی‌بل [۱۷])، این موضوع نشانگر سهم بیشتر شکست مارتنزیت در نمونه‌های دارای Vm بیشتر است.

علاوه بر این آزمونها، نمونه‌هایی نیز با فاز مارتنزیت رشته‌ای با عملیات حرارتی سرد کردن سریع میانی (IQ) ایجاد گردیدند. در این عملیات حرارتی، نمونه‌ها در دمای $920\,^{\circ}C$ به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شده و سپس در مخلوط یخ و آب نمک با دمای $-8\,^{\circ}C$ سریع سرد شدند. همین نمونه‌ها در دماهای میان بحرانی به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفته و سپس در مخلوط یخ و آب نمک با دمای $-8\,^{\circ}C$ سریع سرد شدند. این عملیات حرارتی باعث ایجاد مارتنزیت رشته‌ای می‌شود. با مقایسه سیگنالهای فراآوایی تحلیل شده از نمونه‌های IA و IQ، تفاوت قابل توجهی مشاهده می‌شود. به عنوان مثال تمام توابع محافظ در نمونه‌های IQ بعد از تسلیم حالت نزولی دارند. در نمونه‌های IQ به علت پخش یکنواخت‌تر فاز مارتنزیت و کاهش فاصله آزاد حرکت نابجاییها می‌توان گفت که بعد از تسلیم، تخریب به صورت تقریباً یکنواخت تا پایان آزمون کشش در حال انجام است. این موضوع به دلیل مورفولوژی نمونه های IQ و نقش موثر جوانه‌زنی ترک در فاز مارتنزیت و در فصل مشترک فازهای فریت-مارتنزیت می‌باشد و لذا تاثیر آن بصورت مداوم و فزاینده بر انرژی نشر فراآوایی مشاهده می‌شود. ساختار رشته‌ای مارتنزیت به گونه‌ای رفتار می‌کند که تخریب به طور پیوسته اتفاق می‌افتد و این یکی دیگر از تفاوتهای قابل توجه با نمونه‌های IA است. این موضوع بطور مبسوط در کارهای بعدی بررسی خواهد شد.

در کنار اطلاعات نشر فراآوایی که بطور مستقیم از دستگاه ضبط می‌شود، شکل موجهای[1] نشر فراآوایی نیز از طریق دستگاه استخراج شده است. این امواج حاوی اطلاعات نشر فراآوایی بوده و با برنامه نوشته شده در نرم افزار Matlab، هر یک از شکل موجها فراخوانی شده و سپس تبدیل فوریه سریع بر این شکل موجها انجام شده و فرکانسهای موجود در هر شکل موج استخراج شده است. نتایج حاصله تاییدی بر کارهای قبلی نگارندگان[۱۸-۲۰] و تحقیقات دیگران [۴] می‌باشد. فرکانس مربوط به تغییرشکل نمونه فریتی در محدوده ۱۷۵ کیلوهرتز و شکست نمونه مارتنزیتی در بازه ۵۲۰-۷۰۰ کیلوهرتز می‌باشد. اکثر فرکانسهای فراآوایی حاصله بعد از تسلیم برای نمونه‌های IA730 در بازه ۱۱۲-۱۱۷ کیلوهرتز بوده که مربوط به جدایش فازهای فریت و مارتنزیت از یکدیگر می‌باشد و برای نمونه‌های IA760، IA790 و IA820 در دو بازه ۱۱۲-۱۱۹(جدایش فازهای فریت و مارتنزیت) و ۵۵۷-۶۱۲ کیلوهرتز (شکست مارتنزیت) می‌باشد.



شکل ۵ توزیع دامنه در نمونه‌های IA

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا مروری بر مکانیزمهای مختلف تغییرشکل و شکست فولادهای دوفازی انجام شد و سپس شناسایی این مکانیزمها با روش نشر فراآوایی انجام شده است. آزمونهای انجام شده نشان می‌دهد که با افزایش Vm، مکانیزم شکست مارتنزیت (علاوه بر جدایش فازهای فریت و مارتنزیت از یکدیگر) سهم قابل توجهی در شکست فولاد دوفازی پیدا می‌کند. مقدار بیشینه انرژی فراآوایی مربوط به شکست فاز مارتنزیت حدود ۲×۱۰^{-۱۰} ژول می‌باشد. دامنه سیگنالهای فراآوایی مربوط به تغییر شکل فریت، بین ۳۰-۴۰ دسی‌بل، شکست فاز مارتنزیت، ۴۰-۴۵ دسی‌بل و جدایش فازهای فریت و مارتنزیت از یکدیگر بیش از ۴۵ دسی‌بل دیده شد. تغییر شکل فاز فریت دارای بازه فرکانسی حدود ۱۷۵ کیلوهرتز، جدایش فازهای فریت و مارتنزیت از یکدیگر حدود ۱۱۰ کیلوهرتز و شکست فاز مارتنزیت دارای بازه فرکانسی حدود ۵۲۰-۷۰۰ کیلوهرتز می‌باشد. تابع جدید معرفی شده در این مقاله (تابع محافظ) نیز به نوعی صحه‌گذاری بر این پارامترها را انجام می‌دهد. نتایج عملی این تحقیق حاکی از آن است که امکان برقراری ارتباطی منطقی بین سیگنالهای نشر فراآوایی با مکانیزمهای مختلف شکست این نوع از فولادها وجود دارد.

۵- مراجع

[1] Handbook of Non Destructive Testing, Vol. 5, Acoustic Emission, American Society for Nondestructive Testing.
[2] Heiple C.R., Carpenter S.H.; Acoustic emission produced by deformation of metals and alloys – a review: part I; J. Acous Emission, Vol 6, No.3, pp.177–207.
[3] Long Q.Y., Huazi Y., Acoustic emission during deformation of dual-phase steels; Metal Mater Trans A, Vol.21, No.1, 1990, pp.373-379.
[4] Lee C.S., Huh J.H., Li D.M., Shin D.H., Acoustic emission behavior during tensile tests of low carbon steel welds; ISIJ Int, Vol.39, No.4, 1999, pp.365-370.
[5] Singh S.K., Srinivasan K., Chakraborty D., Acoustic emission studies on metallic specimen under tensile loading; Mater Des, Vol.24, 2003, pp.471–481.
[6] Nam W.J., Bae C.M., Microstructural evolution and its relation to mechanical properties in a drawn dual-phase steel; J. Mater Sci, Vol.34, 1999, pp.5661-5668.
[7] Mondal D.K., Dey R.M., Effect of grain size on the microstructure and mechanical

1. Wave forms

properties of a C-Mn-V dual-phase steel; Mater Sci Eng A, Vol.149, 1992, pp.173-181.

[8] Erdogan M., Priestner R., Effect of epitaxial ferrite on yielding and plastic flow in dual phase steel in tension and compression; Mater Sci Tech, Vol.15, No 11, 1999, pp.1273-1284.

[9] Balliger N.K., Gladman T., Work hardening of dual-phase steels; Metal. Sci, 1981,Vol.15, No.3, pp.95-108.

[10] Fallahi A., Microstructure properties correlation of dual phase steels producted rolling process; J. Mater Sci, Vol.18, No.5, 2002, pp.451-454.

[11] Gerbase J., Embury J.D., Hobbs R.M., The mechanical behavior of some dual phase steels, Structure and properties of dual-phase steels, TMS-AIME, New York, 1990, pp.118-143.

[12] Speich G.R., Miller R.L., Mechanical properties of Ferrite-Martensite steels, Structure and properties of dual-phase steels, TMS-AIME, New York, 1979, pp.145-182.

[13] Minak G., Morelli P., Zucchelli A., Fatigue residual strength of circular laminate graphite–epoxy composite plates damaged by transverse load; Compos Sci Tech, Vol.69, No.9, 2009, pp.1358-1363.

[14] Minak G., Zucchelli A., Damage evaluation and residual strength prediction of CFRP laminates by means of acoustic emission techniques; Compos Mater Research Progress, Nova Science Publishers, 2008, pp.165-207.

[15] Cesari F., Dal R.V., Minak G., Zucchelli A., Damage and residual strength of laminated graphite-epoxy composite circular plates loaded at the centre; Compos Part A, Vol.38, 2007, pp.1163-1173.

[16] Leslie W.C., The physical metallurgy of steels, McGraw-Hill, 1982, pp. 217.

[17] Khamedi R., Fallahi A., Unpublished work.

[18] Khamedi R., Fallahi A., Refahi Oskouei A., Effect of martensite phase volume fraction on acoustic emission signals using wavelet packet analysis during tensile loading of dual phase steels; Mater Des, Vol.31, No.6, 2010, pp.2752-2759.

[19] Khamedi R, Fallahi A, Zoghi H. The influence of morphology and volume fraction of martensite on AE signals during tensile loading of dual-phase steels; Int J Recent Trend Eng, Vol.1, No.5, 2009, pp.30–34.

[20] Khamedi R, Fallahi A, Refahi Oskouei A, Ahmadi M. The effect of martensite phase volume fraction of dual-phase steels on acoustic emission signals under tensile loading; J. Pure and Applied Ultrasonics, Vol.31, No.4, 2009, pp.133-137.