



PSC 2007

98-F-CAM-432

آنالیز خرابی پره‌های کمپرسور در یک توربین گاز

حیدر روحی

دانشگاه صنعت آب و برق تهران

سید ابراهیم موسوی ترشیزی

پژوهشگاه نیرو، دانشگاه صنعت آب و برق تهران

واژه‌های کلیدی: توربین گاز، کمپرسور، سایش، جریان هوا، پره‌های ثابت

چکیده:

مقدمه

در سال ۱۳۵۷، دو واحد گازی از نوع BBC، مدل GT13D، هر یک با توان نامی ۷۹ مگاوات، در یکی از نیروگاه‌ها نصب و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. یکی از مشکلات گزارش شده در تعمیرات دوره‌ای این واحدها، وجود شبه ترک‌هایی در پره‌های ثابت نیمه‌ی بالایی کمپرسور بود که به صورت رفتگی‌هایی در محل اتصال پره‌های ثابت به ریشه ظاهر شده بودند. همچنین در اثر پدیده‌ای مشابه، لبه حمله‌ی پره در همین منطقه دچار آسیب شد که این آسیب‌دیدگی سبب تعویض تعدادی از این پره‌ها گردید. هدف از این بررسی، تعیین مکانیزم غالب در فرسایش این پره‌ها می‌باشد.

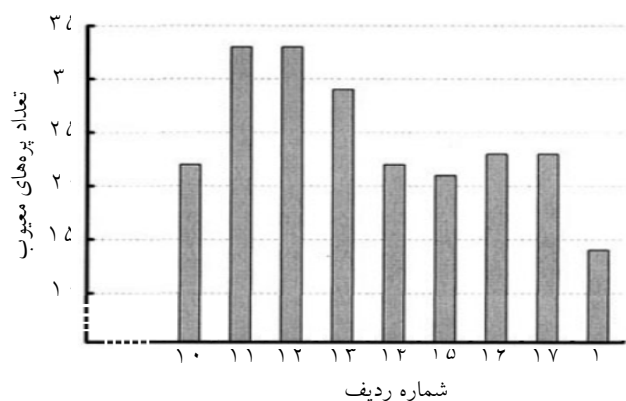
طی تعمیرات دوره‌ای توربین گازی مدل GT13D، شبه ترک‌هایی در پره‌های ثابت نیمه‌ی بالایی کمپرسور (ردیف‌های نیمه انتهایی) مشاهده شد، که موجب تعویض تعدادی از پره‌ها گردید. در این مقاله سعی شده است با بررسی این پره‌ها از دیدگاه‌های مختلف، نظیر سختی، جنس، شکل ظاهری، لایه‌های سطحی، ریز ساختار، کیفیت سطوح با SEM و ... مکانیزم غالب در فرسایش این پره‌ها مشخص و عامل این خرابی تعیین گردد. از این بررسی‌ها نتیجه می‌شود که جنس پره فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی با سختی تقریباً یکسان در تمامی قسمت‌ها می‌باشد و هیچ‌گونه تغییرات ساختاری که نشان دهنده‌ی تغییرات درجه حرارت باشد دیده نمی‌شود. همچنین عامل فرسایش وجود ذرات خارجی نمی‌تواند باشد، بررسی‌ها وقوع پدیده‌ی سایش (Erosion) در اثر جریان هوا را محتمل می‌نمایند.

بررسی آمار خرابی

یکی از مهمترین عوامل موثر در شناخت علت خرابی، بررسی آمار، محل و چگونگی خرابی‌ها و ارتباط آن‌ها با شرایط مختلف می‌باشد. لذا در این بخش گزارش آماری یک دوره تعمیراتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. تست‌های ترکیبی که به روش ذرات مغناطیسی (Magnetic Particles) از

آنالیز خرابی پره‌های کمپرسور در یک توربین گاز

بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۱: توزیع خرابی در نیمه بالایی کمپرسور

| شماره ردیف | تعداد پره‌ها | تعداد پره‌های معیوب |
|------------|--------------|---------------------|
| ۱ | ۵۶ | - |
| ۲ | ۴۰ | - |
| ۳ | ۴۰ | - |
| ۴ | ۵۰ | - |
| ۵ | ۵۰ | - |
| ۶ | ۵۰ | - |
| ۷ | ۵۰ | - |
| ۸ | ۶۲ | - |
| ۹ | ۶۲ | - |
| ۱۰ | ۶۷ | ۲۲ |
| ۱۱ | ۷۸ | ۳۳ |
| ۱۲ | ۷۸ | ۳۳ |
| ۱۳ | ۷۸ | ۲۹ |
| ۱۴ | ۷۸ | ۲۲ |
| ۱۵ | ۷۸ | ۲۱ |
| ۱۶ | ۷۸ | ۲۳ |
| ۱۷ | ۷۸ | ۲۳ |
| ۱۸ | ۷۸ | ۱۴ |

جدول ۱: تعداد پره‌های معیوب در هر ردیف

بررسی آماری خرابی‌ها نشان می‌دهد که فقط در بخشی از نیمه بالایی کمپرسور خرابی اتفاق افتاده و آسیبی در نیمه پایینی و ابتدای نیمه بالا گزارش نشده است. عامل این خرابی سایش ذرات خارجی نیز نبوده است زیرا در این صورت، خرابی در تمامی قسمت‌ها اتفاق می‌افتاد و یا حداقل، تفاوتی بین ردیف‌های آخر کمپرسور در نیمه بالا و پایینی وجود نداشت.

پره‌های ثابت کمپرسور در دو نیمه بالا و پایینی انجام گرفته بود، به شرح زیر گزارش شده است:

پره‌های ثابت نیمه پایینی کمپرسور: در پره‌های ثابت نیمه پایینی کمپرسور هیچ گونه ترک سطحی مشاهده نگردید.

پره‌های ثابت نیمه بالایی کمپرسور: در پره‌های ثابت ردیف‌های اول تا نهم نیمه بالایی کمپرسور هیچ ترکی مشاهده نشده است و ترک‌های مشاهده شده به شرح زیر در ردیف‌های ۱۰ الی ۱۸ اتفاق افتاده است (شمارش پره‌ها از چپ به راست است).

ردیف ۱۰: پره، پره‌های شماره ۴-۶-۸-۹-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۴ الی ۳۱-۳۴.

ردیف ۱۱: پره، پره‌های شماره ۱-۲-۶ الی ۲۰-۲۲ الی ۳۷.

ردیف ۱۲: پره، پره‌های شماره ۱-۲-۳-۵ الی ۳۱-۳۳-۳۶-۳۷.

ردیف ۱۳: پره، پره‌های شماره ۱-۲-۴ الی ۲۰-۲۲ الی ۳۲-۳۰.

ردیف ۱۴: پره، پره‌های شماره ۱-۳-۵-۶-۹ الی ۱۴-۱۶-۲۶-۳۹.

ردیف ۱۵: پره، پره‌های شماره ۵ الی ۱۵-۱۸ الی ۲۳-۲۶-۲۷-۳۲-۳۴.

ردیف ۱۶: پره، پره‌های شماره ۵-۶-۷-۹-۱۱ الی ۲۱-۲۳-۲۴-۲۵-۲۷-۲۸-۲۹-۳۰-۳۹.

ردیف ۱۷: پره، پره‌های شماره ۲-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۳-۱۴-۲۰ الی ۳۱-۳۳-۳۶-۳۷-۳۸.

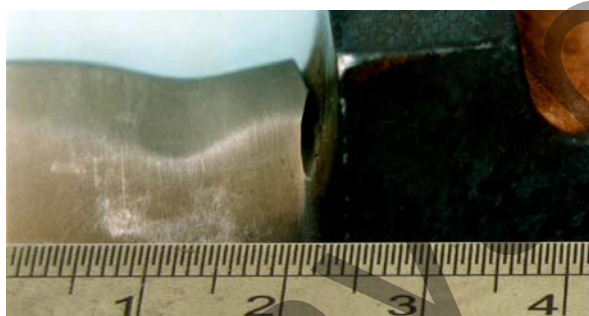
ردیف ۱۸: پره، پره‌های شماره ۲-۴-۵-۶-۸-۱۰-۱۲-۱۴ الی ۱۹.

توزیع خرابی‌ها در شکل ۱ و مرتب شده اطلاعات فوق در جدول ۱ آمده است.



شکل ۲: وضعیت و شدت خرابی در روی پره (لبه حمله)

این شدت خرابی به دو شکل روی پره ظاهر شده است: الف) نزدیک ریشه‌ی پره (سطح اتصال پره به ریشه): آسیب در این قسمت، به صورت یک شیار باریک ایجاد شده است. شکل ۳ این شیار را که در گزارش‌های تعمیراتی به عنوان ترک قید شده بود با بزرگ‌نمایی بیشتری نشان می‌دهد. دقت در شکل این شیار نشان می‌دهد، که انتهای آن کاملاً منحنی است و به هیچ وجه با ترک، که همواره نوک تیز است قابل اشتباه نیست.



شکل ۳: وضعیت و شدت خرابی در جلو پره

ب) سایش در لبه‌ی حمله: این تغییر شکل در منطقه‌ای وسیع‌تر (به طول ۲-۱/۵ سانتیمتر) ایجاد شده و شدت آن به حدی است که شکل لبه‌ی حمله و انحنا‌ی پروفیل پره را به کلی تغییر داده است. شکل ۳ لبه حمله را از روی پره و شکل ۴ لبه‌ی حمله را از پشت پره با بزرگ‌نمایی نشان می‌دهند. شیار عمیق روی پره، از پشت آن نیز به صورت بریدگی دیده می‌شود و انحنا‌ی انتهای آن به خوبی مشهود است.

همچنین عامل خرابی افزایش درجه حرارت خروجی کمپرسور نیز نبوده است، زیرا اولاً درجه حرارت خروجی کمپرسور زیاد نیست (حدود ۳۰۰ درجه سانتیگراد)، ثانیاً در صورت افزایش درجه حرارت، نیمه‌ی بالایی و پایینی به صورت تقریباً مساوی تخریب می‌شدند.

بررسی جنس

تعیین جنس نمونه جهت شناخت ساختار متالورژیکی و تغییرات احتمالی آن، ضروری است. بدین منظور نمونه‌ای از یک پره‌ی مستعمل جهت آزمایش کوانتومتری بریده شده و نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

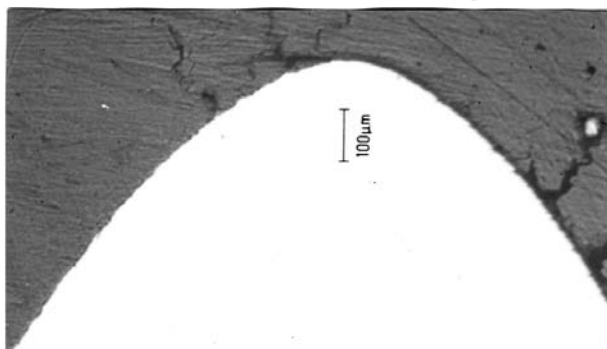
| عنصر | درصد |
|------|-------|
| C | ۰/۲۳ |
| Si | ۰/۱۸ |
| Mn | ۰/۴۴ |
| P | ۰/۰۲۸ |
| S | ۰/۰۲۸ |
| Cr | ۱۲/۵۴ |
| Ni | ۰/۳۷ |
| Mo | ۰/۸۹ |
| V | ۰/۲۵ |

جدول ۲: ترکیب شیمیایی پره کمپرسور براساس آزمایش کوانتومتری

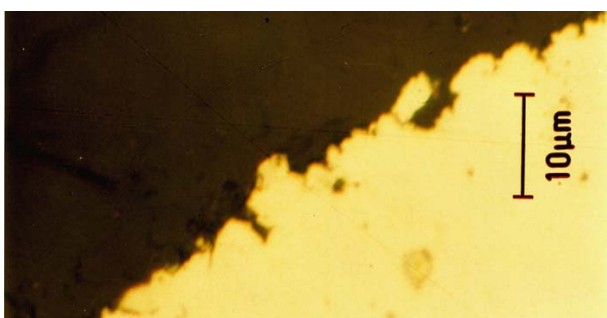
مقایسه عناصر موجود با استاندارد، نشان می‌دهد که پره از جنس فولاد شماره 1.4120 و معادل فولاد X20CrMo13 در استاندارد DIN می‌باشد. با توجه به درصد کروم موجود، این فولاد از خانواده فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی می‌باشد.

بررسی ظاهری پره‌ها

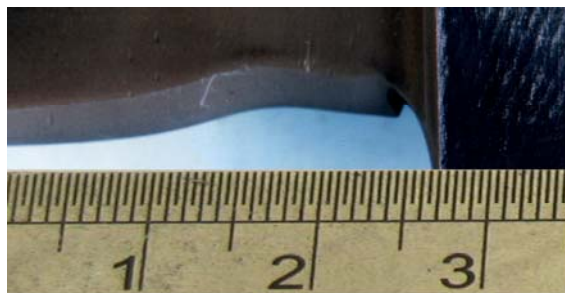
با بررسی ظاهری پره‌ها مشاهده می‌شود که با وجود شدت آسیب‌های متفاوت در پره‌های مختلف، شکل ظاهری فرسایش در همه‌ی آن‌ها یکسان است. همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود. خرابی در لبه حمله‌ی پره اتفاق افتاده و با دور شدن از ریشه‌ی پره، شدت آسیب نیز کمتر می‌گردد.



شکل ۶: لبه حمله پره با بزرگنمایی



شکل ۷: لبه حمله در روی پره در محل آسیب دیده

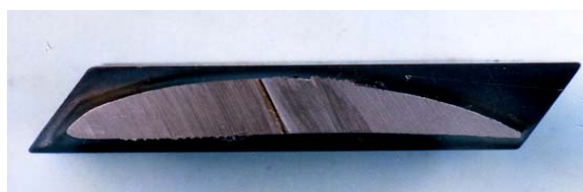


شکل ۴: وضعیت و شدت خرابی در پشت پره (لبه حمله)

لبه‌ی حمله نیز به طور یکنواختی مانند لبه چاقو تیز شده که این تغییر شکل سبب تغییر پروفیل لبه‌ی حمله گردیده است. با بررسی شکل ظاهری نتیجه می‌شود که لبه‌ی خروجی پره (Blade Trailing Edge) بدون هیچ تغییر و آسیبی و به صورت دست نخورده باقی مانده است. همچنین آسیب به وجود آمده در اثر خوردگی یا افزایش درجه حرارت نبوده و احتمال بروز پدیده‌ای مانند سایش (Erosion) وجود دارد.

بررسی لایه سطحی

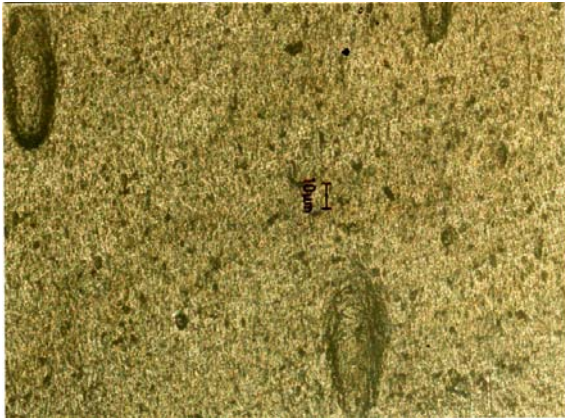
به منظور مطالعه‌ی لایه سطحی، و چگونگی خوردگی یا سایش، یک پره از نزدیکی ریشه برش داده شده و با بزرگنمایی بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۵). شکل ۶ نیز لبه‌ی حمله را با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هیچ گونه لایه‌ی سطحی حاصل از خوردگی وجود ندارد. شکل ۷ لبه‌ی حمله در روی پره را با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برلبر نشان داده است.



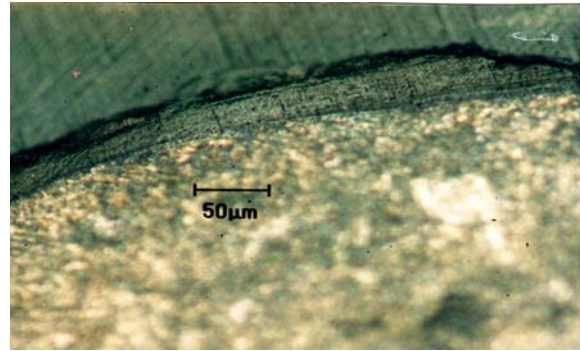
شکل ۵: محل برش پره از نزدیکی ریشه جهت بررسی لایه سطحی

چنانچه در این تصاویر به وضوح مشخص است:

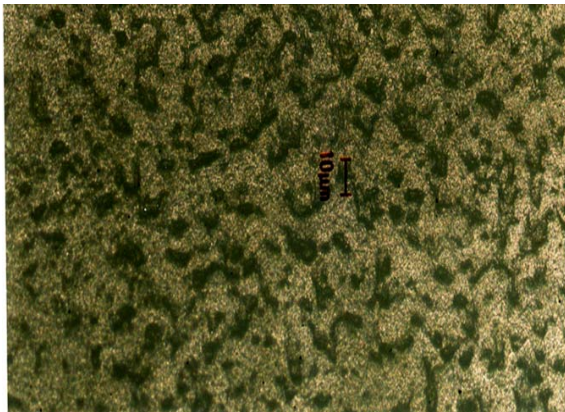
- ۱- هیچ گونه لایه‌ی سطحی ناشی از اکسیداسیون یا خوردگی دیده نمی‌شود.
- ۲- شکل ۷ جدایش دانه‌های سطحی از محل مرز دانه‌ها را در اثر اعمال نیروهای مکانیکی به زیبایی نشان می‌دهد.
- شکل ۸ تصویری از لبه حمله را در نزدیکی نوک پره (محلی که آسیب ندیده است) نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۲۵ تا ۳۰ میکرون، لبه پره در این قسمت را کاملاً پوشانده است. در شکل ۹ لایه‌ی سطحی پره‌ای سالم آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد لایه‌ای ناپیوسته تمام سطح قطعه را پوشانده است. این لایه، همان لایه‌ی قهوه‌ای متمایل به سیاهی است که پوشش سطحی قطعه را تشکیل می‌دهد. از آنجایی که پره‌ها دارای پوشش نیستند و با توجه به درصد کروم و زنگ‌نزن بودن آن‌ها، لایه‌ی مذکور، همان لایه اکسید کروم می‌باشد که از سطح پره در مقابل اکسیداسیون محافظت می‌کند.



شکل ۱۰: کیفیت سطح پره در محل آسیب دیده



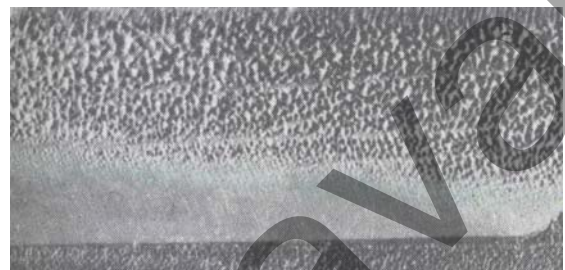
شکل ۸: لبه حمله پره در نزدیکی نوک پره‌ای سالم



شکل ۱۱: کیفیت سطح پره در محل سالم



شکل ۹: لایه سطحی پره سالم، (لایه‌ای ناپیوسته سطح قطعه را کاملاً پوشانده است).



شکل ۱۲: آثار مکانیزم Erosion روی سطح پره توربین بخار [۲]



شکل ۱۳: آثار مکانیزم Erosion روی سطح لوله‌ای از جنس فولاد نرم که در مسیر تخلیه توربین قرار گرفته بود [۳].

بررسی تصاویر نشان می‌دهد که در قسمت‌های آسیب دیده، این لایه‌ی سطحی کاملاً از بین رفته و سطح بدون محافظ در معرض آسیب قرار گرفته است. همچنین این تصاویر هیچ گونه اثری از خوردگی روی این بخش از سطح را نشان نمی‌دهند.

تصاویر ۱۰ و ۱۱ کیفیت سطح پره را به ترتیب در محل آسیب دیده و سالم نشان می‌دهند. در محل آسیب دیده (شکل ۱۰) حفره‌های بسیار ریزی ناشی از جدایش کریستال‌ها در اثر سایش دیده می‌شود. در این شکل علاوه بر این حفره‌های ریز، سه حفره بزرگ نیز دیده می‌شود که این حفره‌ها احتمالاً محل شروع شیارها در ریشه‌ی پره‌ها می‌باشند. این درحالی است که در محل سالم روی سطح، لایه‌ای محافظ دیده می‌شود (شکل ۱۱). همچنین به منظور مقایسه، نمونه‌هایی از مکانیزم سایش روی سطوح مختلف، در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است [۲ و ۳]. بررسی لایه‌ی سطحی، پدیده سایش (Erosion) را تایید می‌کند.

بررسی سختی قطعه

تمپرینگ (Tempering)، روی ساختار مارتنزیتی، سختی به صورت موضعی کاهش می‌یافت.

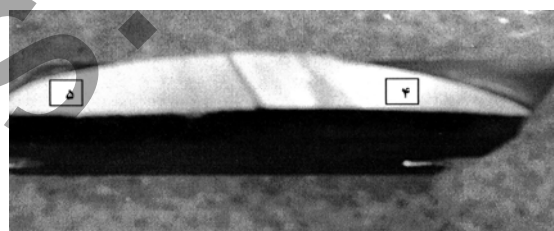
با توجه به این که سختی یکی از پارامترهای نشان دهنده خرابی و زوال قطعات و یا تغییرات ساختاری آن‌ها می‌باشد، قسمت‌های مختلف سطح و مقطع یک پره مورد آزمایش سختی‌سنجی قرار گرفته‌اند. نقاط مورد آزمایش در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده و نتایج این بررسی، در جدول ۳ ارائه گردیده است.

بررسی ریز ساختاری

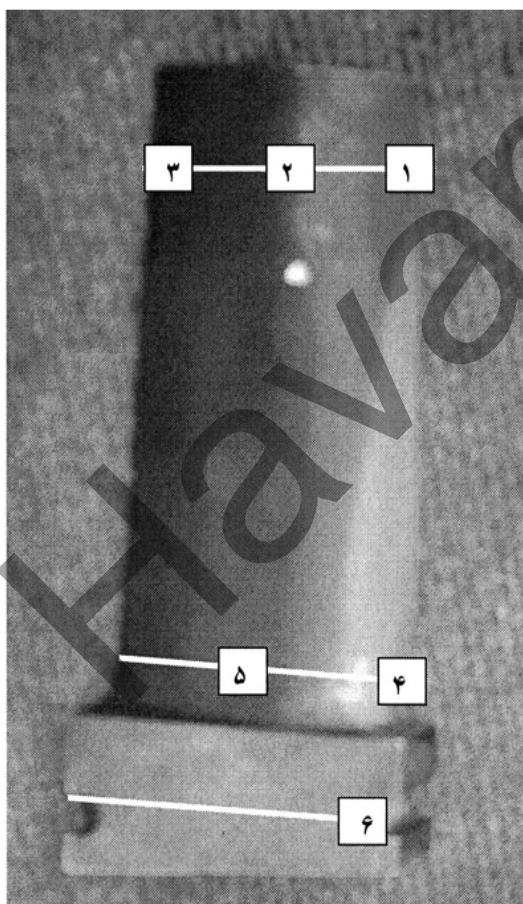
مطالعه ریزساختاری پره در نقاط مختلف نشان دهنده ساختار مارتنزیتی لایه‌ای (Lath Martensite) می‌باشد که احتمالاً به روش ریخته‌گری دقیق تولید شده است. این قطعه پس از ریخته‌گری، ساختار آن مارتنزیتی شده و سپس به منظور کاهش سختی و تردی و افزایش چقرمگی آن، مورد عملیات حرارتی تمپرینگ قرار گرفته است. به منظور مطالعات ریز ساختاری و تغییرات احتمالی ایجاد شده در نقاط مختلف پره، یک نمونه آسیب دیده از پره‌های کمپرسور از سه مقطع (نوک پره، محل آسیب و ریشه پره) برش داده و نمونه برداری شده است. محل‌های این نمونه برداری در شکل ۱۶ مشخص گردیده است.



شکل ۱۴: نقاط مورد اندازه‌گیری از سطح قطعه



شکل ۱۵: نقاط مورد اندازه‌گیری از مقطع قطعه



شکل ۱۶: خطوط برش و محل‌های نمونه برداری برای مطالعه‌ی ساختار متالورژیکی

| شماره محل | سختی (برینل) | موقعیت |
|-----------|--------------|--------------------|
| ۱ | ۲۶۲ | نوک پره - روی پره |
| ۲ | ۲۸۰ | ریشه پره - پشت پره |
| ۳ | ۲۸۲ | نوک پره - پشت پره |
| ۴ | ۲۶۹ | مقطع پره |
| ۵ | ۲۷۵ | مقطع پره |

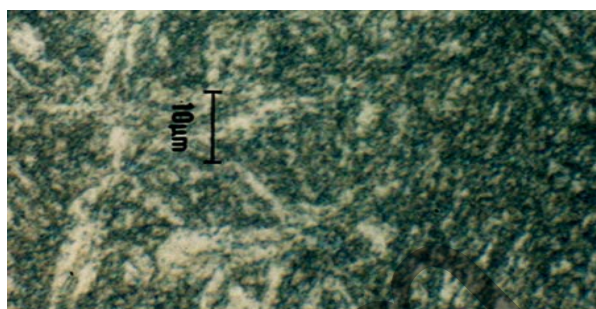
جدول ۳: نتایج سختی سنجی

با توجه به این نتایج مشاهده می‌گردد که سختی نقاط مختلف تقریباً یکسان است و تفاوت قابل ملاحظه‌ای که ناشی از عملیات مکانیکی یا حرارتی باشد دیده نمی‌شود. لازم به ذکر است که اگر پره در شرایط نامساوی از نظر درجه حرارت قرار می‌گرفت، به واسطه‌ی انجام عملیات بازگشت یا

بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

به منظور رعایت اختصار، تعدادی از تصاویر به صورت نمونه ارائه می‌گردد.

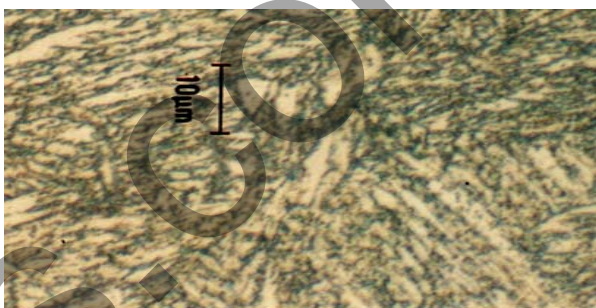
با مطالعه‌ی تصاویر ریزساختاری نتیجه می‌شود که: تفاوت محسوسی بین لبه‌ی حمله در نوک پره (نمونه ۱) و لبه حمله در محل آسیب (نمونه ۴) وجود ندارد و در هر دو حال ساختار مارتنزیت لایه‌ای به خوبی دیده می‌شود. تفاوتی بین لبه‌ی حمله در محل آسیب (نمونه ۴) و وسط پره در همان محل (نمونه ۵) وجود ندارد. در نتیجه بررسی‌ها تفاوت ریزساختاری محسوسی را در قسمت‌های مختلف پره نشان نمی‌دهد.



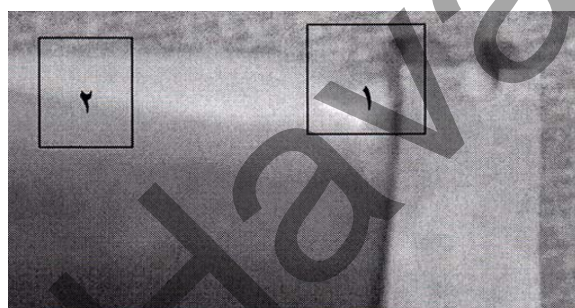
شکل ۱۷: ساختار نمونه ۱، لبه حمله، سر پره، اچ‌ماربل

بررسی سطوح با میکروسکوپ الکترونی SEM

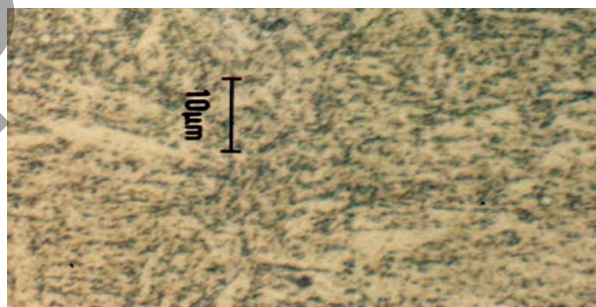
میکروسکوپ‌های SEM، ابزاری قوی برای بررسی سطوح، آنالیزهای فازی و عنصری و ده‌ها کاربرد دیگر است. به منظور بررسی سطوح پره‌های آسیب دیده، دو نمونه به شرح شکل ۲۱ از یک پره مستعمل بریده شده و قسمت‌های مختلف آن با SEM مورد بررسی قرار گرفته است. چنانچه مشاهده می‌گردد نمونه ۱ از محل شیار در نزدیکی ریشه پره تهیه شده و نمونه ۲ به منظور مطالعه‌ی کیفیت سطوح آسیب دیده و سالم و چگونگی مرز آن‌ها از وسط پره تهیه شده است که به تشریح نکات مهم در هر نمونه می‌پردازیم.



شکل ۱۸: ساختار نمونه ۴، نزدیک ریشه پره، اچ‌ماربل



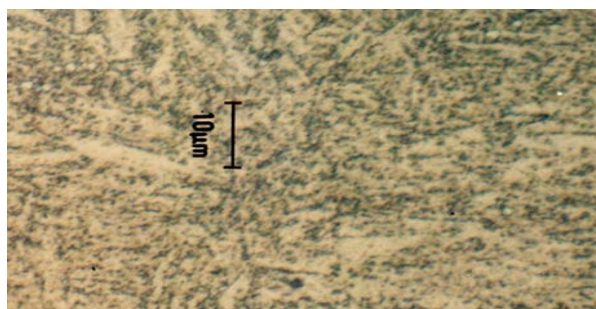
شکل ۲۱: محل‌های نمونه برداری برای بررسی با SEM



شکل ۱۹: ساختار نمونه ۵، نزدیک ریشه پره، اچ‌ماربل

الف) نمونه ۱

شکل ۲۲ تصویر نمونه ۱ را با بزرگنمایی کم (۸۹ برابر) نشان می‌دهد. چنانچه مشهود است شیار ایجاد شده در ریشه پره، در اثر جریان هوا می‌باشد و به هیچ وجه ترک ناشی از اعمال نیروی ضربه‌ای یا تناوبی نیست.



شکل ۲۰: ساختار نمونه ۶، ریشه پره، اچ‌ماربل

شکل ۲۳ همین شیار را با بزرگنمایی ۷۸۷ برابر نشان می‌دهد. این تصویر علاوه بر کنده شدن کریستال‌های درون شیار در

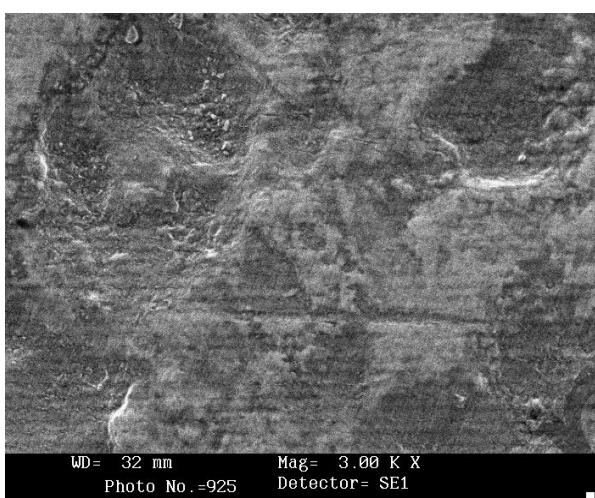
بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

(ب) نمونه ۲

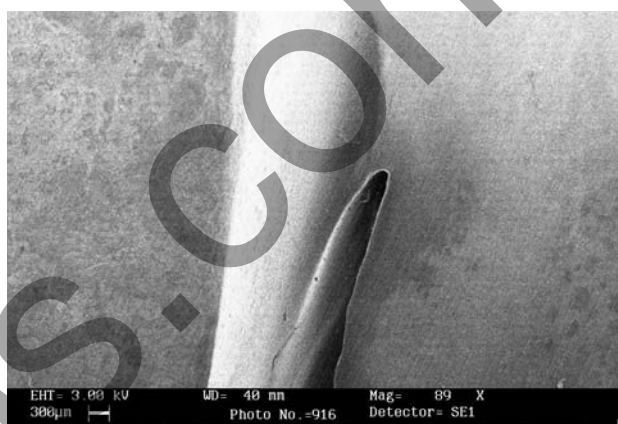
شکل ۲۵ تصویر سطح قطعه در منطقه سالم را نشان می‌دهد. این سطح که روی نمونه با رنگ قهوه‌ای متمایل به سیاه مشاهده می‌شود، همان سطح نشان داده شده در شکل ۱۱ است که با بزرگنمایی بیشتری آورده شده است. مقطع این لایه سطحی در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، این لایه، در تمام سطح پیوسته نیست. شکل ۲۵ نیز ناپیوستگی لایه و وجود حفرهای سطحی را به خوبی نشان می‌دهد.

اثر سایش، تغییر شکل کوچکی را نیز در انتهای شیار نشان می‌دهد، که احتمالاً این تغییر شکل پلاستیک به واسطه نیروی اعمال شده توسط جریان هوا می‌باشد (با شکل ۷ مقایسه شود).

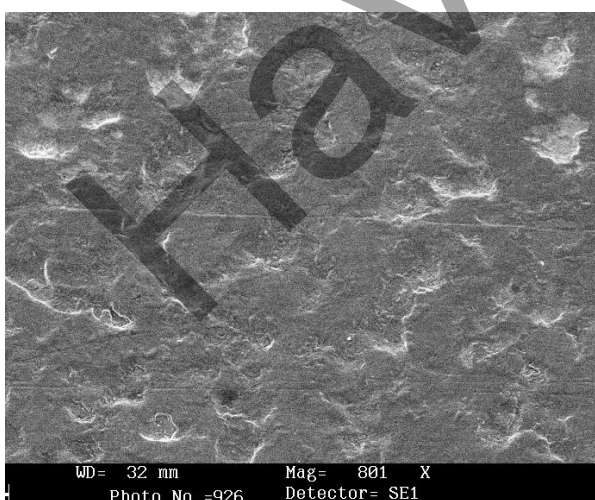
شکل ۲۴، منطقه کوچکی از داخل شیار شکل ۲۳ را با بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر نشان می‌دهد. این تصویر حفره‌های ناشی از کنده شدن کریستال‌ها را نشان می‌دهد. علاوه بر آن در قسمت مرکزی تصویر ترکی دیده می‌شود که نشان دهنده آغاز کنده شدن دانه دیگری است.



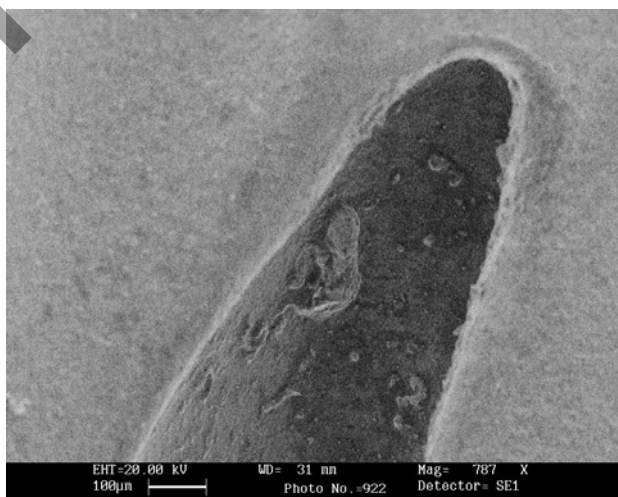
شکل ۲۴: منطقه کوچکی از داخل شیار شکل ۲۳ با بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر



شکل ۲۲: تصویر نمونه ۱ با بزرگنمایی ۸۹ برابر



شکل ۲۵: تصویر سطح قطعه در منطقه سالم با بزرگنمایی ۸۰۱ برابر (نمونه ۲)



شکل ۲۳: شیار شکل ۲۲ با بزرگنمایی ۷۸۷ برابر

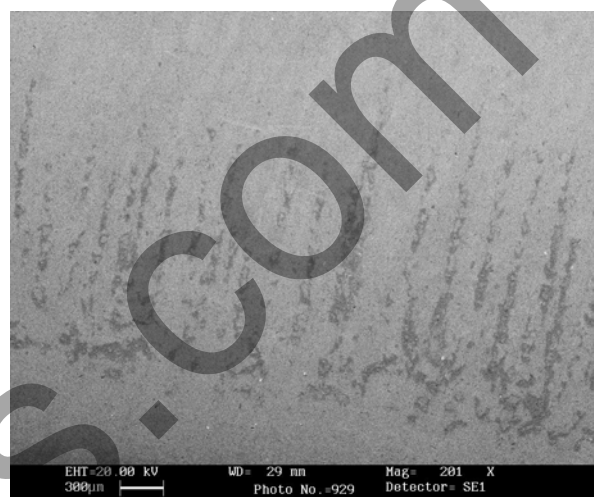
بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

شکل ۲۷ بخشی از سطح نشان داده شده در شکل ۲۶ را با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر نشان می‌دهد. وجود حفره‌های سطحی در این قسمت با وضوح بیشتری نشان داده شده است. شکل ۲۸ مرز بین قسمت آسیب دیده و سالم را با بزرگنمایی ۱۱۲ برابر نشان می‌دهد. امتداد جریان هوا روی پره و سایش لایه سطحی در این قسمت (پایین و چپ تصویر) به خوبی مشخص است.

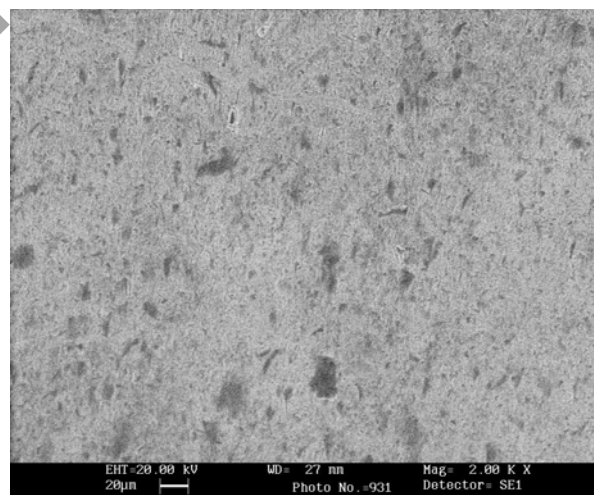
شکل ۲۶ لبه حمله پره، قسمت آسیب دیده و سفید شده را با بزرگنمایی کم (۲۰۰ برابر) نشان می‌دهد. در این تصویر خطوطی از لبه حمله به طرف قسمت سالم و در جهت جریان هوا کشیده شده است. در لبه حمله این خطوط به صورت حفره‌هایی نامنظم ایجاد شده‌اند در صورتی که پس از این مرحله، با تثبیت جریان هوا در روی پره، شیارهایی در همین امتداد ایجاد گردیده‌اند.



شکل ۲۸: مرز بین قسمت آسیب دیده و سالم با بزرگنمایی ۱۱۲ برابر (نمونه ۲)



شکل ۲۶: لبه حمله پره، قسمت آسیب دیده و سفید شده با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر (نمونه ۲)



شکل ۲۷: بخشی از سطح نشان داده شده در شکل ۲۶ با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر (نمونه ۲)

نتیجه گیری

- ۱- تخریب بوجود آمده در اثر سایش ذرات خارجی نبوده است.
- ۲- هیچ‌گونه تغییر ساختاری که نشان دهنده تغییرات درجه حرارت باشد دیده نمی‌شود.
- ۳- سختی قطعه در تمامی نقاط تقریباً یکسان است.
- ۴- تمامی مطالعات وقوع پدیده سایش در اثر جریان هوا را تایید می‌کند.

بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

۵- با توجه به عدم وجود ترک و یا تغییرات ساختاری پره‌های آسیب دیده می‌توان با سنگ زدن (Blend) در محدوده مجاز دستورالعمل، محل وقوع شیار را از بین برد.

۶- بهتر است در تعمیرات اساسی بعدی پوسته بالایی از نظر وجود ترک در قسمت‌های میانی و تیرانس‌های مجاز تغییر فرم آن مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد این پدیده کمیاب احتمالاً در اثر بروز اغتشاش در جریان هوا ایجاد شده و موجب سایش موضعی گردیده است. به نظر می‌رسد که چگونگی بستن دو نیمه کمپرسور و به هم خوردن فواصل بین انتهای پره‌های متحرک و ریشه پره‌های ثابت در این پدیده نقش داشته باشد. علاوه بر این احتمال خم‌شدگی و تغییر شکل موضعی پوسته‌ی کمپرسور نیز وجود دارد. تحلیل CFD جریان و تغییر پارامترهای مدل، می‌تواند در شناخت دقیق‌تر این پدیده مؤثر باشد.

مراجع

[۱]: دکتر محمد علی گل‌عذار، عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۵.

[2]: ASM Handbook, Vol 11, "Failure Analysis prevention", Ninth Edition, 1992.

[3]: Robert D. port, Harvey M. Herro, "The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis", Nalco Chemical Company, 1991.