

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



علل شکست شفت ایرهتر یک نیروگاه

علی اکبر فلاح، کامران خداپرستی، علی حاجی محمد نظری

kkhodaparasti@yahoo.com

این مقاله پیش از این در " ماهنامه صنعت برق، شماره ۱۲۰، خرداد ۱۳۸۶ " به چاپ رسیده است.

خلاصه

در این تحقیق، علل شکست شفت ایرهتر یک نیروگاه به کمک بررسیهای ماکروسکوپی و میکروسکوپی و همچنین آنالیز تنش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بررسیهای ماکروسکوپی نشان دهنده آن است که شفت دچار خستگی مکانیکی شده است و آنالیز تنش انجام شده، وجود تمرکز تنش در محل شکست را نشان می‌دهد. بررسیهای ساختاری توسط میکروسکوپ نوری نشان دهنده آن است که شفت در هنگام تولید مورد عملیات حرارتی سطحی قرار گرفته است و پس از عملیات حرارتی، ساختار مناسبی جهت مقاومت به خستگی به دست آورده است. اما به علت عدم انجام تمهیدات لازم در حین بازسازی، ساختار میکروسکوپی سطح خارجی شفت تغییر یافته و شفت دچار خستگی شده است.

۱- مقدمه

رایج ترین دلیل تخریب قطعات مهندسی، شکست‌های خستگی هستند [۱]. شکست‌هایی که در شرایط بارگذاری دینامیک رخ می‌دهند شکست‌های خستگی نامیده می‌شوند که این نوع شکست ها غالباً خطرناک هستند. دلیل عمده خطرناک بودن شکست خستگی این است که بدون هشدار قبلی روی می‌دهد. سه عامل عمده برای وقوع شکست خستگی عبارتند از: ۱- یک تنش کششی حداقل ۲- تغییرات زیاد یا نوسانی در تنش وارده ۳- زیاد بودن چرخه های تنش وارده. علاوه براینها متغیرهای دیگری مانند تمرکز تنش، خوردگی، دما، بار اضافی، ساختار متالورژیکی، تنش های باقیمانده و تنشهای مرکب نیز شرایط را برای ایجاد خستگی مساعد می‌سازند [۲]. در ادامه، بررسی شکست شفت ایرهتر یکی از واحدهای بخار نیروگاهی پس از دریافت اطلاعات بهره‌برداری ارائه می‌گردد.

۲- جمع آوری اطلاعات

جهت بررسی علل شکست شفت، ابتدا نحوه کار شفت، نوع و مشخصات سایر قطعات درگیر با شفت، نوع و چگونگی بارگذاری نیروها بر روی شفت در محل نیروگاه مشاهده گردید. اطلاعات بهره‌برداری و سازنده واحد مشخص کننده آن بود که نیروی اعمالی به شفت برابر با ۲۵ تن و تعداد دور شفت در هر دقیقه برابر با ۳ می‌باشد. همچنین قسمت کوچکی از سطح شفت پس از کارکرد آن بدلیل سایش، بکمک جوشکاری مورد بازسازی قرار گرفته است.

۳- تعیین آلیاژ شفت

ترکیب شیمیایی آلیاژ شفت که توسط روش کوانتومتری تعیین گردیده است در جدول ۱ نشان داده شده است. این ترکیب شیمیایی نشان دهنده آن است که این شفت در محدوده فولاد با شماره مواد ۱/۱۱۹۱ (مطابق با استاندارد DIN [۳]) قرار دارد.

۴- بررسی چشمی

تصویر ظاهری شفت شکسته در شکل ۱ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد شفت به طور کامل به دو قسمت تبدیل شده است. همچنین سطح شکست (شکل ۲) به دو قسمت مجزا (منطقه الف و منطقه ب) قابل تقسیم می‌باشد و شکست دقیقاً در قسمتی که شفت دارای تغییر قطر می‌باشد اتفاق افتاده است. محل‌های آغاز ترک را می‌توان به خوبی در اطراف سطح شکست ملاحظه کرد. برخی از این علائم (ratchet marks) در شکل ۲ نشان داده شده است.

۵- تمیزکاری و فراکتوگرافی سطح شکست

قبل از بررسی دقیق سطح شکست توسط میکروسکوپ، یکی از دو نیمه سطح شکست به کمک محلول استون تمیز گردید سپس سطح فوق با میکروسکوپ استریو مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ قسمتی از سطح شکست را نشان می‌دهد. وجود علائم خستگی در سطح به خوبی مشخص است.

۶- انجام آزمون اولتراسونیک

جهت بررسی عیوب داخلی شفت، قسمتهایی از آن توسط امواج اولتراسونیک مورد بررسی قرار گرفت و عیوب قابل ملاحظه ای مشاهده نگردید.

۷- آماده سازی و بررسی مقاطع متالوگرافی

به منظور بررسی ریز ساختار شفت، مطابق با شکل ۴ دو مقطع از آن جدا گردید (مقطع ۱ و مقطع ۲) (با فاصله ۴ سانتیمتری از سطح شکست)). این دو مقطع به همراه مقطع شکست شفت پس از آماده سازی سطح (سنباده زنی، پولیش و اچ) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نتایج بررسی مقاطع متالوگرافی به شرح ذیل می باشند:

الف - سطح خارجی شفت در زمان تولید آن توسط عملیات حرارتی سخت گردیده است و قسمتهایی از سطح خارجی نیز در هنگام تعمیرات پس از مدتی که شفت در سرویس قرار داشته است جوشکاری شده است. شکل ۵ ساختار کلی شفت را در سه مقطع انتخاب شده نشان میدهد.

ب - ریز ساختار مغز شفت (ریز ساختار داخلی کل شفت به غیر از مناطق نزدیک به سطح خارجی) شامل فریت و پرلیت می باشد (شکل ۶).

ج - سطوحی که آثار جوشکاری بر روی آنها به وضوح ملاحظه می گردد دارای دانه های ستونی می باشند (شکل ۵-ب و شکل ۷).

د- ریز ساختار شفت در مناطقی که مورد عملیات حرارتی قرار گرفته (و اثرات جوشکاری در آنها کمتر است) شامل مارتنزیت تمپر شده است (شکلهای ۸ و ۹).

ه- در مناطق دور از سطح خارجی (تقریباً در فاصله ۴ میلیمتری از سطح خارجی) ساختار حاوی مارتنزیت بیشتری می باشد، لیکن با نزدیک شدن به سطح خارجی شفت با توجه به اثرات حرارتی جوشکاری و عملیات حرارتی تمپرینگ، ساختار عاری از مارتنزیت شده و شامل فریت و کاربید می شود (شکلهای ۸ و ۹).

و- جوشکاری موجب تخریب کل ساختار حاصل از عملیات حرارتی در برخی از مناطق سطح خارجی شده است (شکل ۵-ب).

۸- انجام آزمون سختی سنجی

جهت تکمیل مشاهدات میکروسکوپی و ماکروسکوپی، بر روی دو مقطع جدا شده (مقاطع ۱ و ۲ در شکل ۴) و همچنین مقطع شکست، مقادیر سختی در فواصل ۰/۱، ۰/۵، ۱/۵، ۳/۲، ۵/۵ و ... میلیمتری از سطح شفت تعیین گردید. شکل ۱۰ تغییرات سختی (بر حسب ویکرز با نیروی ۲۰۰ گرم) را در سطوح مذکور نشان می‌دهد.

۹- آنالیز تنش

جهت انجام آنالیز تنش شفت ابتدا نقشه شفت بصورت ساده تهیه و سپس به کمک نرم افزار **Ansys5.4** توزیع تنش با در نظر گرفتن نوع و میزان نیروهای اعمالی به شفت استخراج گردید. شکل ۱۱ توزیع تنش را پس از اعمال نیرو به شفت نمایش می‌دهد. همانگونه که در شکل ۱۱ مشخص است در مکانی که شفت دارای تغییر قطر می‌باشد تنش قابل توجهی اعمال می‌گردد. این موضوع با در نظر گرفتن دوران شفت نشان دهنده اعمال تنشهای تناوبی زیاد به مقطع مذکور می‌باشد.

۱۰- تعیین نوع شکست، مکانیزم زوال و نتیجه گیری

وجود دو سطح متمایز در مقطع شکست، زاویه ترکهای اولیه و حضور علائم رودخانه‌ای (**Beach Marks**) نشان دهنده آن است که شفت دچار خستگی مکانیکی گردیده است و وجود چندین محل برای آغاز ترک (**Rachet Marks**) نشان دهنده آن است که مکانیزم تخریبی غالب در شکست شفت، خستگی خمشی می‌باشد. تحلیل تنش انجام گرفته به کمک نرم افزار و مشخص شدن اعمال نیروهای نوسانی بر روی شفت در حین سرویس و بالابودن میزان تنش اعمالی وقوع خستگی را تایید می‌نماید.

وجود حداقل شعاع (**Fillet**) در مکانی که شکست رخ داده است (قطر شفت در سه قسمت تغییر می‌کند که در محل شکست شفت، شعاع (**Fillet**) کمترین است) و همچنین تحلیل تنش انجام گرفته به کمک نرم افزار موید این موضوع است که این مقطع دارای تمرکز تنش فراوانی می‌باشد و از جمله مراکز مناسب برای ایجاد ترک خستگی و اشاعه آن می‌باشد.

وجود سختی بالا در برخی از قسمتهای سطح شفت و همچنین ریز ساختار شفت در سطح نشان دهنده آن است که بر روی شفت عملیات حرارتی به منظور تغییر دادن ساختار و بهبود خواص مکانیکی و به خصوص افزایش استحکام خستگی صورت گرفته است. لازم به ذکر است که خستگی فرآیندی است که به شدت به سطح حساس می‌باشد و بطور کلی یکی از عمده‌ترین روشهای افزایش استحکام خستگی شفتهای بزرگ عملیات حرارتی سطحی آنها می‌باشد.

متاسفانه در برخی از نواحی سطحی شفت مورد مطالعه (از جمله در اطراف سطح شکسته شده) در هنگام بازسازی، جوشکاری انجام شده است و این موضوع موجب گردیده است که استحکام خستگی شفت در این نواحی کاهش یابد و با در نظر گرفتن اثرات تمرکز تنش در موقعیت شکسته شده، شفت در این نقطه دچار خستگی گردد.

۱۱- روش پیشگیری

۱- بطور کلی در مورد شفتهایی که عملیات حرارتی شده‌اند روش جوشکاری جهت بازسازی توصیه نمی‌گردد (به علت اثر مخرب جوشکاری و یا حتی اثر مخرب عملیات حرارتی پس از جوشکاری). لذا بهتر است در صورت مشاهده اثرات تخریبی در سطح شفت از روشهای دیگر (از جمله پوشش‌دهی) استفاده گردد.

۲- در صورت انجام جوشکاری باید با استفاده از روشهایی مانند ساچمه‌زنی و عملیات حرارتی مناسب، استحکام خستگی شفت افزایش یابد.

۳- با توجه به تمرکز تنش در سطح مقطع شکست به علت تغییر قطر شفت در این مکان در هنگام ماشینکاری (بازسازی) به صافی سطح و شعاع (Fillet) باید توجه کافی داشت. (یکی از دلایل تشدید کننده خستگی در این شفت می‌تواند ماشینکاری نادرست آن پس از جوشکاری باشد).

۱۲- منابع و مراجع

[۱] L. Engel and H. Klingele, " An atlas of metal damage ", Wolfe Publishing Ltd., 1981, p.76.

[۲] G. E. Dieter, "Mechanical Metallurgy", McGraw Hill, Second ed., 1976, pp.404-406.

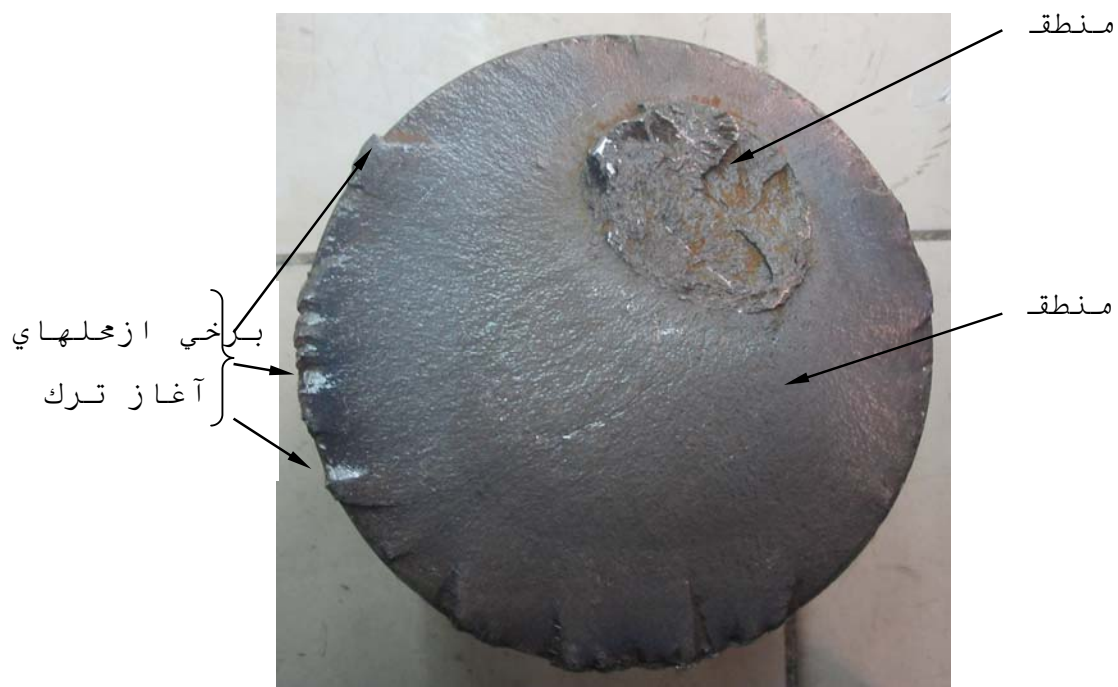
[۳] C.W. Wegst, "Key to Steel", Verlag Stahlschlüssel Wegest GmbH, 1998.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ شفت و ترکیب شیمیایی فولاد ۱/۱۱۹۱ (مطابق با استاندارد DIN [۳])

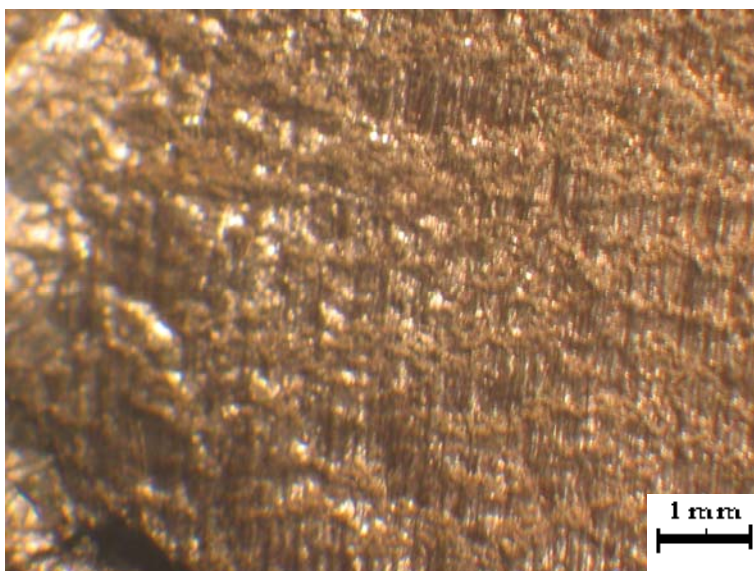
عناصر	C (wt%)	Si (wt%)	Mn (wt%)	P (wt%)	S (wt%)	Fe (wt%)	سایر عناصر
آلیاژ شفت	0.50	0.2	0.77	0.01	0.016	پایه	ناچیز
فولاد ۱/۱۱۹۱	0.42-0.50	≤0.4	0.5-0.8	≤0.035	≤0.035	پایه	ناچیز



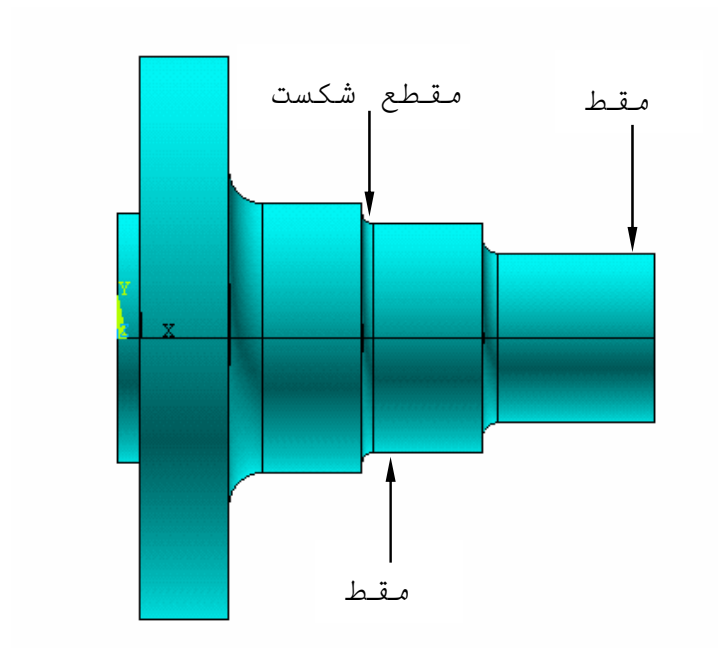
شکل ۱- تصویر ظاهری شفت شکسته



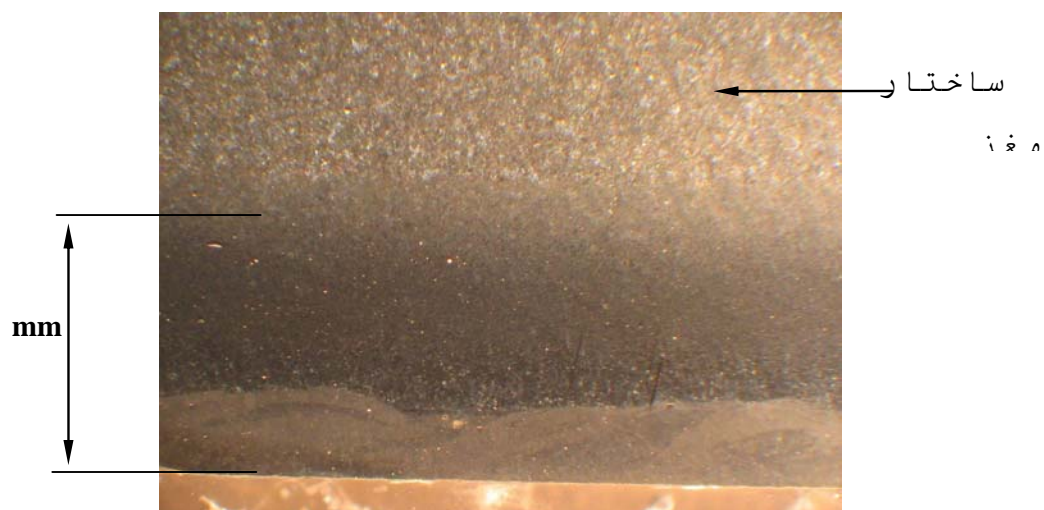
شکل ۲- تصویر سطح شکست



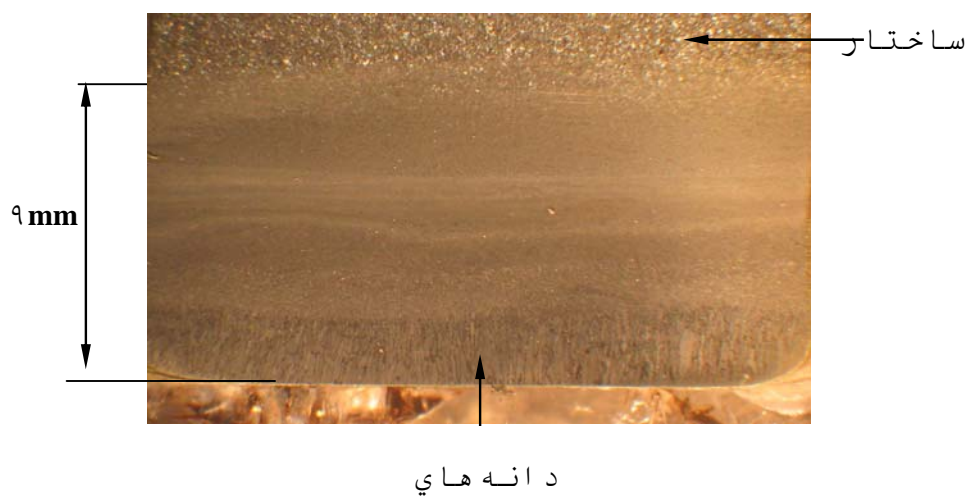
شکل ۳- خطوط موازی در سطح شکست که نشان دهنده علائم خستگی می باشد.



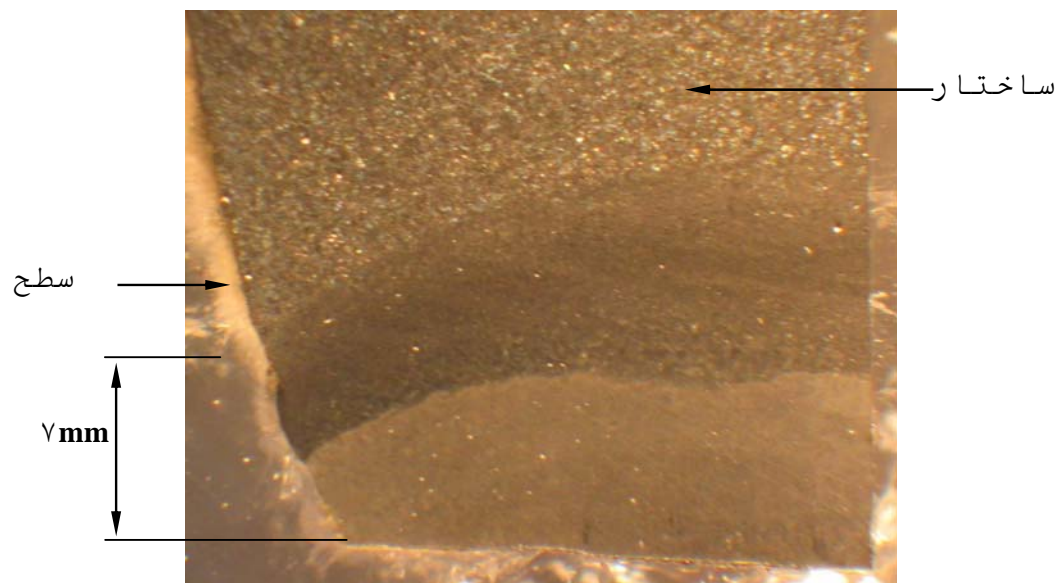
شکل ۴ - نمای شماتیک از مقاطع انتخاب شده جهت بررسی ریز ساختاری



شکل ۵- الف - تصویر ساختار کلی در مقطع ۱

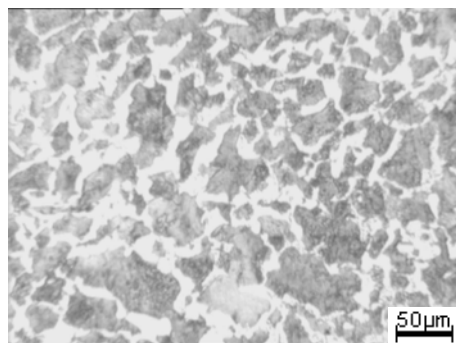


شکل ۵-ب- تصویر ساختار کلی در مقطع ۲، در این قسمت از شفت تقریباً کل ساختار عملیات حرارتی شده از بین رفته است.

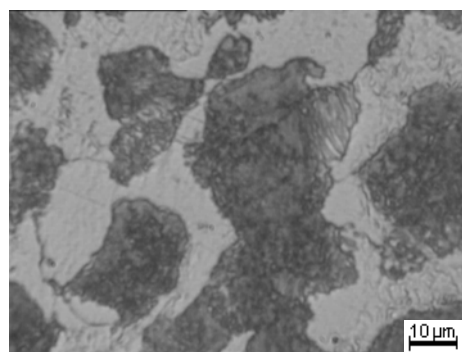


شکل ۵-ج- تصویر ساختار کلی در مقطع شکست

شکل ۵- ساختار کلی شفت در مقاطع نشان داده شده در شکل ۴، محلول اچ نایتال ۲٪

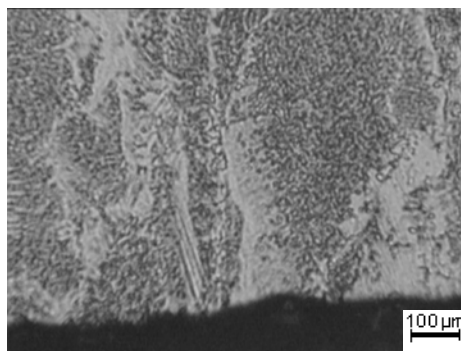


شکل ۶- الف - ریز ساختار مرکز شفت، ساختار حاوی پرلیت و فریت می باشد

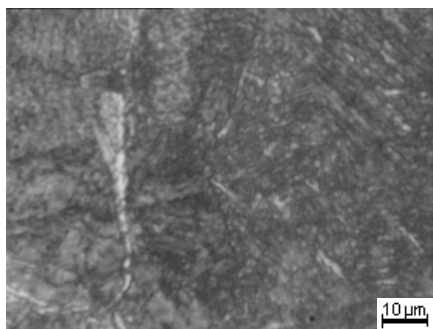


شکل ۶- ب- مشابه تصویر الف اما در بزرگنمایی بالاتر

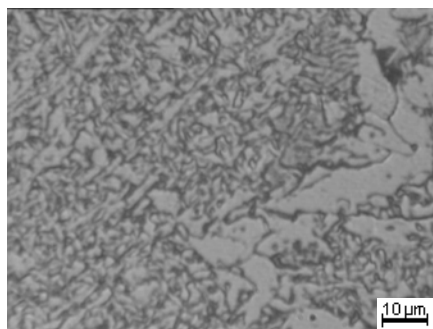
شکل ۶- ریز ساختار مرکز شفت (کلیه مناطق بغیر از مناطق سطح خارجی شفت)، محلول اچ نایتال ۲٪



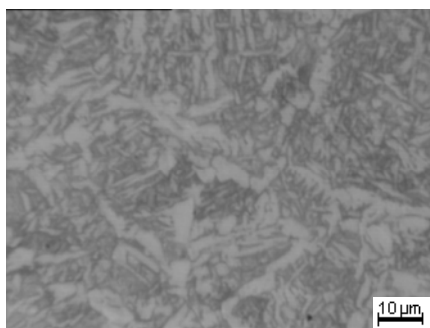
شکل ۷- ریز ساختار سطح خارجی شفت در مناطقی که جوشکاری انجام شده است (سطح مقطع ۲)، ساختار شامل دانه های ستونی می باشد، محلول اچ نایتال ۲٪



شکل ۸-الف- ریز ساختار مقطع شکست شفت در فاصله ۳/۵ میلیمتری از سطح خارجی شفت، ساختار شامل مارتنزیت تمپر شده می باشد.

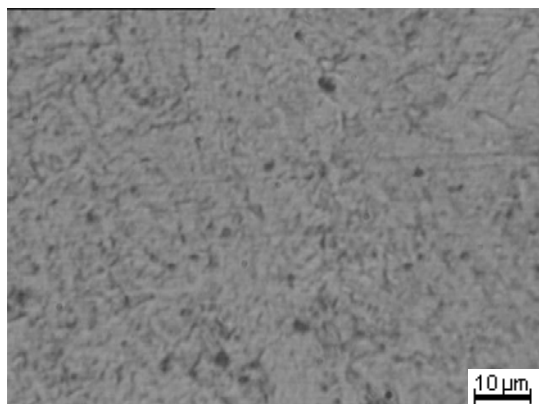


شکل ۸-ب- ریز ساختار مقطع شکست در فاصله ۲/۵ میلیمتری از سطح خارجی شفت، ساختار مشابه تصویر الف می باشد لیکن میزان تمپر شدن در این ساختار بیشتر از ساختار نشان داده شده در تصویر الف است.

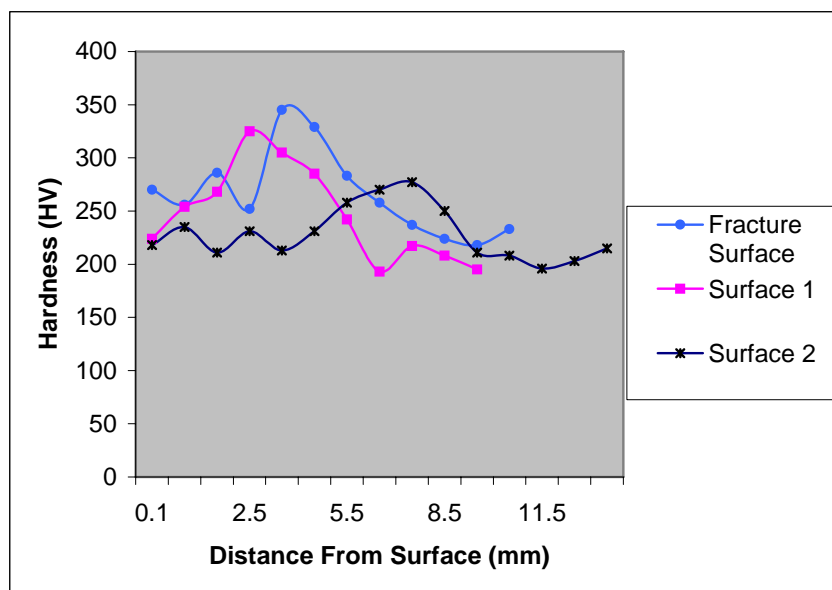


شکل ۸-ج- ریز ساختار مقطع شکست در فاصله ۰/۱ میلیمتری از سطح خارجی شفت، ساختار مشابه تصویر ب می باشد لیکن میزان تمپر شدن در این ساختار بیشتر از ساختار نشان داده شده در تصویر ب است

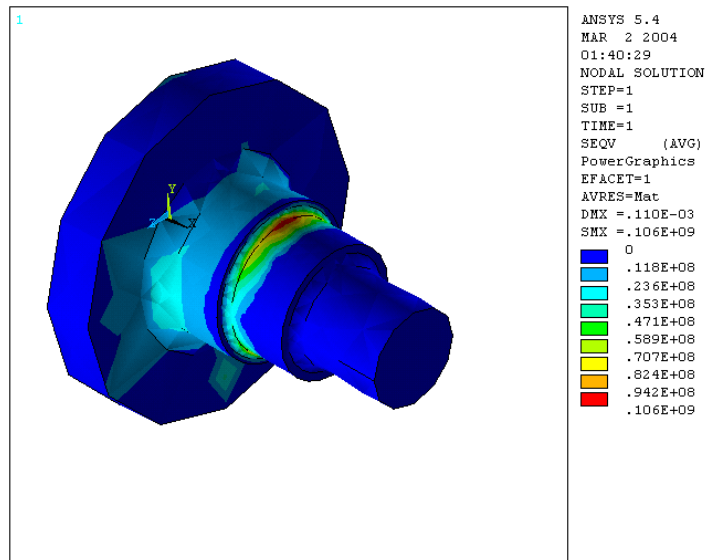
شکل ۸- ریز ساختار در فواصل مختلف از سطح خارجی شفت (مقطع شکست (شکل ۵-ج))، ، محلول اچ نایتال ۲٪



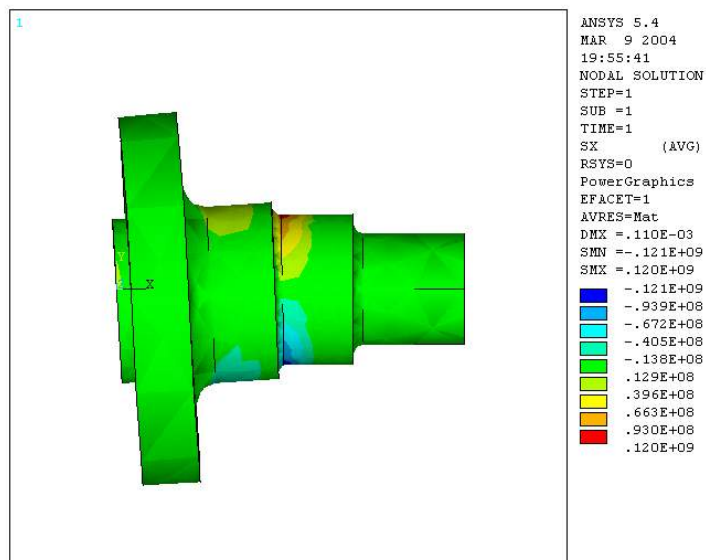
شکل ۹- ریز ساختار مقطع ۱ در فاصله ۰/۵ میلیمتری از سطح خارجی، ساختار شامل مارتنزیت تمپر شده می باشد. به دلیل حرارت دیدن سطح، تمپرینگ ساختار سطحی شدید می باشد، محلول اچ نایتال ۲٪



شکل ۱۰- پروفیل سختی (میکرو سختی) بر حسب فاصله از سطح خارجی شفت در سه مقطع شفت (مقاطع در شکل ۴ مشخص گردیده اند)



شکل ۱۱- الف - توزیع تنش فون مایز (نمای سه بعدی)



شکل ۱۱- ب - توزیع تنش در راستای محور شفت (راستای X) (نمای روبرو)

شکل ۱۱- توزیع تنش در شفت پس از اعمال نیرو