PSC2009
24th International Power System Conference
09-F-CAM-0117
بیست و چهارمین
کنفرانس بین‌المللی برق

بررسی علت شکست دو نمونه یراق در خطوط فوق توزیع

اعظم باجقلی ۱ - امیرشریف یزدی ۲

پژوهشگاه نیرو ۱ – شرکت برق منطقه ای یزد ۲
abajgholi@nri.ac.ir

واژه‌های کلیدی: یراق آلات – کلمپ ها – شبکه های توزیع و انتقال – ریخته گری

چکیده

یراق‌آلات خطوط هوائی به خاطر نقش حساسی که در برقراری ارتباط مابین هادی ها و دکل ها ایفا می نمایند، باید از مشخصات الکتریکی و مکانیکی مناسبی برخوردار باشند که تحت شرایط محیطی گوناگون و بارهای مختلفی که به آنها وارد می شود، تحمل مناسب را داشته باشند و در اثر تغییرات درجه حرارت و شرایط محیطی خواص آنها تغییرنکند. عدم دقت در انتخاب و استفاده از یراق‌آلات نامناسب درخطوط انتقال و توزیع نیرو موجب خواهد شد که یراق آلات خط در زمانی زودتر از موعد پیش بینی شده دچار تخریب و شکست شوند. این امر به نوبه خود و در اغلب موارد به خسارتهای سنگین‌تری در برجها یا هادیهای خطوط می‌انجامد و سرانجام تداوم برق رسانی دچار وقفه می‌شود. در این مقاله علت شکست یک ساکت آی و یک کلمپ آویز ریخته‌گری شده در خط فوق توزیع مورد بررسی قرار گرفت ، که علت اصلی شکست انتخاب مواد اولیه و آلیاژ سازی نامناسب می باشد. جهت جلوگیری از بروز مشکل انتخاب مواد اولیه مرغوب و مطابق با استاندارد، انجام آنالیز شیمیائی از ذوب در هنگام ریخته‌گری، انجام آزمون مقاومت به ضربه (کارخانه ای) و در صورت امکان سختی سنجی وآزمون غیر مخرب بر روی قطعات توصیه می شود.

مقدمه

با توجه به کیفیت مواد مورد استفاده در ساخت یراق آلات و روش ساخت آنها طول عمر مفید پیش بینی شده برای خطوط توزیع متفاوت می‌باشد، بنابراین رعایت استانداردهای مربوطه در حین مراحل طراحی، ساخت و فرآوری موجب می‌شود تا مشکلات احتمالی هر چه بیشتر تقلیل یابد و در اینصورت است که می‌توان طول عمر مفید نزدیک به طول عمر پیش بینی شده برای خطوط توزیع و انتقال را با عملکرد مطلوب از آنها انتظار داشت.

یراق‌آلات مورد نیاز برای مونتاژ مقره‌ها و نیز برپایی سازه‌های خطوط هوایی شبکه‌های توزیع و انتقال دارای تنوع فراوانی می‌باشند. بیشتر این اتصالات، از فولاد ،آلومینیوم و آلیاژهای

آن [1]، مس و آلیاژهای آن و چدن ساخته شده اند که کلیه قطعات آهنی برای جلوگیری از زنگ زدگی باید بصورت گرم گالوانیزه‌گردند. همچنین به دلیل اهمیت کیفیت این قطعات،علاوه برکنترل ضخامت و یکنواختی گالوانیزه، باید از نظر کمترین مقاومت (کشش) مکانیکی مورد آزمایش قرار گیرند. خوشبختانه هم اکنون بسیاری از یراق آلات مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع در داخل کشور تولید می‌گردد و تجربه خوبی در خصوص ساخت این قطعات حاصل شده است. اما لازم است این قطعات دارای کیفیت مطلوب بوده و در طول مدت زمان بهره‌برداری مشخصه‌های خود را حفظ نمایند. آزمونهای لازم جهت تعیین کیفیت یراق آلات بسیار متنوع می‌باشد. نوع آزمونها بستگی به نوع یراق و محل استفاده آن در خط دارد. این آزمونها عمدتاً شامل بررسیهای ابعادی، تعیین خواص مکانیکی، الکتریکی و بررسی پوشش می‌باشد.

همانطور که ذکر گردید بخش عمده ای از یراق آلات مورد نیاز خطوط توسط سازندگان داخلی ساخته می‌شود و کنترل کیفیت مناسبی از طرف خریدار بر روی محصولات خریداری شده صورت نمی‌گیرد و این موضوع باعث بروز مشکلاتی در حین مصرف می‌گردد. بنابراین طراحان و سازندگان همواره باید دقت کافی در انتخاب طرح و مواد مورد نیاز برای ساخت یراق‌آلات بعمل آورند بطوریکه به اهداف ذیل دست یابند .

– مشخصات فنی مناسب (جهت جلوگیری از خرابیهای ناگهانی یراق آلات غیر استاندارد و خسارتهای ناشی از آن)

- سهولت تولید
- سهولت نصب
- قابلیت جابجائی
- قیمت تمام شده مناسب

کارفرمایان می توانند ترکیب بهینه‌ای از موارد یاد شده را در انتخاب یراق‌آلات مناسب در نظر بگیرند و بصورت معیارهای لازم در مشخصات فنی مناقصه بگنجانند. تجربیات نشان داده است که استفاده از یراق‌آلات با مواد اولیه و ساخت و فراوری نامطلوب و نادرست منجر به وقوع حوادث ناگواری مانند مصدوم یا کشته شدن افرادی از گروههای نصب و نیز وقوع حوادث منجر به سقوط هادی بر روی زمین و خروج خط از سرویس در طی دوران بهره برداری می‌شود .

کنترل کیفی مناسب از طرف خریدار بر روی محصولات خریداری شده باعث عدم بروز مشکلات در حین مصرف خواهد شد.

عوامل مختلفی بر نحوه عملکرد یراق آلات تاثیر گذار است، یکی از مهمترین این عوامل چگونگی فرایند ساخت و تولید آنها می باشد و از جمله این مشکلات عدم دقت در زمان ساخت آنها (آلیاژ سازی مناسب) میباشد و در نتیجه قطعات ساخته شده استحکام مکانیکی لازم (کششی، پیچشی و...) را نیز نخواهد داشت.

در این رابطه به بررسی علل شکست دو نمونه یراق (ساگت آی و کلمپ آویز) که در خطوط فوق توزیع کشور می‌پردازیم.

– قطعات تخریب شده

الف) ساکت آی

ساگت آی (رابط گیره آویزی) یا رابط گیره انتهائی مقره بشقابی در خطوط توزیع و فوق توزیع است که به روش ریخته‌گری(چدن داکتیل) تولید و گالوانیزه گرم می‌گردد. این قطعه با کاربرد در انتهای زنجیره مقره(سمت هادی) و اتصال به میله توپی شکل مقره ها، شرایط نصب دیگر اتصالات از جمله کلمپ آویز، سیم گیر انتهائی و یا میله جلو بر فراهم می نماید. لازم به ذکر است که این قطعه بدلیل مشکلات کیفی تولید در هنگام نصب شکسته و منجر به صدمات جانی مونتاژ کار شده است.

ب) کلمپ آویز

کلمپ (گیره) آویزی از جنس آلیاژ آلومینیوم و به روش ریخته‌گری ساخته می‌شود و در شبکه توزیع ایران از نوع‌آلومینیومی‌رکابی برای هادیهای ACSR کاربرد دارد . این کلمپ ها متناسب با قطر سیم نگهدارنده ، که بر اساس محدوده کمترین و بیشترین قطر آنها است، انتخاب می شوند. در بررسی استانداردها جنس این قطعه از آلیاژ آلومینیوم ۳۵۶ و یا ۴۱۳ بیان شده است. لازم به ذکر است که این قطعه در هنگام بهره برداری شکسته است.

1 -Aluminum Alloys

- آزمونهای انجام شده

شکل ۱ قطعات شکسته شده را نشان می دهد. جهت بررسی علت شکست آزمونهای غیر مخرب ، آنالیز شیمیائی ، سختی سنجی، کشش و بررسیهای ساختاری در مقطع شکست (فراکتوگرافی) بر روی نمونه های تخریب شدهانجام شد .همچنین جهت بررسی بیشتر و مقایسه نتایج، نمونه سالم نیز تحت آزمونهای کشش، غیر مخرب و متالوگرافی قرار گرفتند که نتایج آن در زیر آورده شده است .

شکل ۱- تصویر قطعات شکسته شده ساکت آی و کلمپ آویز

برای تعیین ترکیب شیمیایی و نوع آلیاژ یراق‌شکسته شده برروی این نمونه‌ها، آنالیز کوانتومتری انجام گردید(جدول ۱). آزمایش سختی سنجی به روش برینل با دستگاه ESEWAY انگلیسی با نیروی ۵/ ۱۸۷کیلوگرم نیرو و ساچمه فولادی با قطر ۲/۵ میلیمتر بر روی نمونه های نو و آسیب دیده ساکت آی انجام و سختی آنها به ترتیب برای نمونه S1 ۲۸۰ برینل ، نمونه S2 ۳۰۰ برینل و نمونه تخریب شده۳۳۰ برینل اندازه گیری شد.سختی قطعه کلمپ آویز شکسته شده به روش ویکرز با نیروی ۳۰ کیلو گرم ۵۴ ویکرز و قطعه سالم ۶۱ ویکرز اندازه‌گیری گردید.

ساکت آی

کلمپ آویز

شکل ۲- اشکال مربوط به سطح مقطع شکست نمونه ها (استریو)

جدول۱ - آنالیز شیمیائی یراق آلات

الف) و ب) ساکت آی شکسته شده و سالم

ج و د) کلمپ آویز شکسته شده و سالمالف

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Base	2.93	5.57	0.231	0.0447	0.0208	0.0826	0.0655	0.008
Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
0.0117	0.0097	0.825	0.0015	0.0126	0.0033	0.0067	0.0014	0.0494
Mg	As	Zr	Ca	Sb	B	Zn	---	---
0.0222	0.0085	0.0017	0.0027	0.00076	0.0016	0.0157	---	---

ب

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Base	2.76	3.23	0.209	0.0746	0.0281	0.0991	0.0685	0.0128
Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
0.0085	0.006	0.217	< 0.0010	0.0135	0.0038	0.0046	0.00084	0.0459
Mg	As	Zr	Ca	Sb	B	Zn	---	---
0.0349	0.0104	0.0012	0.0027	0.0012	0.0014	0.013	---	---

ج

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Base	12.24	0.706	0.0342	0.0113	0.0036	0.0048	0.0054	0.0135
Ti	Be	Ca	Co	Na	P	Pb	Sb	Sn
0.0065	0.00003	0.00042	< 0.00020	< 0.00005	0.001	0.0011	0.0141	0.00084
Sr	V	Zr	---	---	---	---	---	---
0.0013	0.0049	0.00052	---	---	---	---	---	---

د

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Base	12.43	0.419	0.0235	0.0145	0.0047	0.0014	0.0042	0.0165
Ti	Be	Ca	Co	Na	P	Pb	Sb	Sn
0.0062	0.00003	0.00029	< 0.00020	< 0.00005	0.00073	< 0.0010	0.0177	< 0.00040
Sr	V	Zr	---	---	---	---	---	---
0.0045	0.0041	0.00053	---	---	---	---	---	---

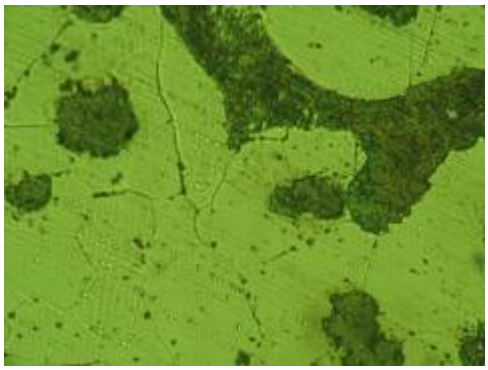
آزمون کشش بر روی دو نمونه کارنکرده از ساکت آی و یک نمونه کلمپ آویز انجام شد که نتایج آزمون حاکی از شکست یکی از نمونه های نو ساکت آی در نیروی ۶۸ کیلو نیوتن و نمونه دیگر در نیروی ۱۴۲ کیلو نیوتن می باشد و کلمپ آویز در نیروی ۴۸ کیلونیوتن شکست. جهت بررسی سطح مقطع شکست نمونه های آسیب دیده از میکروسکوپ استریو استفاده گردید (شکل ۲). میکروسکوپ استریو به کار رفته ساخت شرکت WILD می باشد .

جهت بررسیهای ساختاری نمونه‌هائی از مقطع شکست و دور از شکست تهیه گردید و پس از آماده سازی نمونه ها (برش، سمباده زدن و پولیش)و اچ کردن، سطح آنها به کمک میکروسکوپ نوری بررسی و از سطح نمونه‌ها و ریزساختار آنها، در بزرگنمایی های مختلف تصاویری تهیه گردید(شکلهای ۳تا ۵). میکروسکوپ نوری به کار رفته ساخت شرکت LEITZ و مدلARISTOMET می‌باشد.

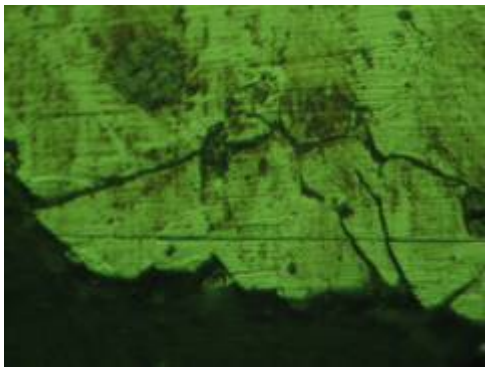
- تعیین علت آسیب دیدگی

الف)ساکت آی

در ابتدا بر روی نمونه شکسته شده آزمونهای غیر مخرب انجام شد. در طی آزمون مایعات نافذ بر روی ساکت آی تخریب شده و نو، هیچ ترک سطحی بر روی قطعات مشاهده نگردید. نتایج حاصل از آزمونهای رادیوگرافی نیز بیانگر وجود حفره‌ها و مکهای با ابعاد کمتر از یک میلیمتر در ساختار بوده که البته با توجه به استانداردهای ریخته‌گری در حد مجاز می باشد.

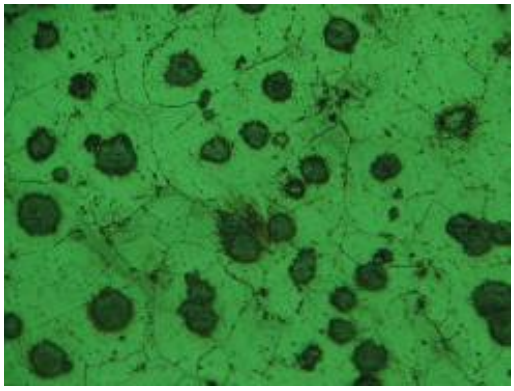


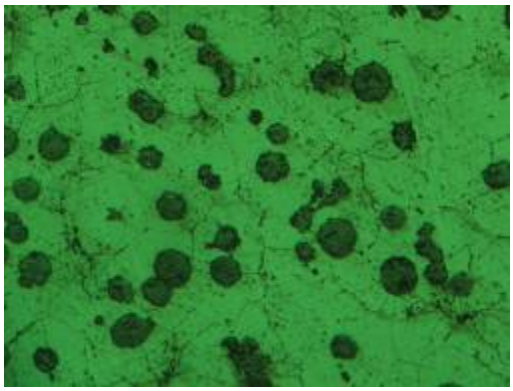
الف



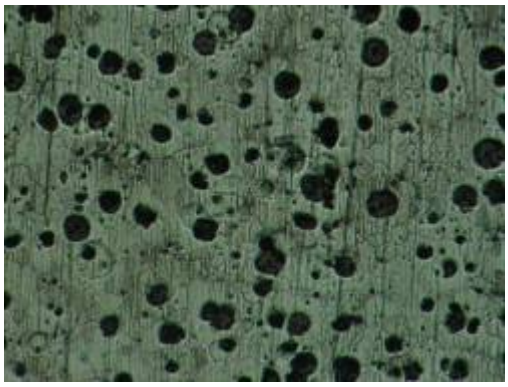
ب

شکل ۳- ساختار قطعه ساکت آی شکسته شده الف) در محل دور از محل شکستگی ، ب) در لبه شکست بزرگنمائی ۵۰۰، محلول اچ نیتال ۳٪

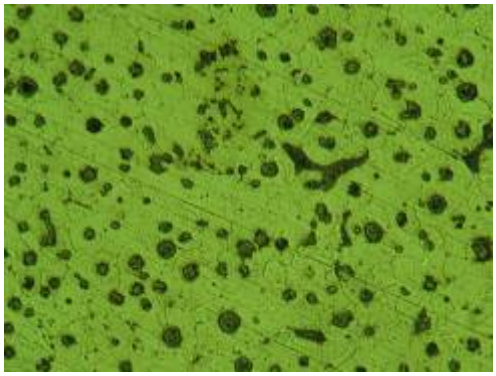




شکل ۴- ساختار قطعه ساکت آی در محل شکستگی، بزرگنمائی ۱۰۰



الف



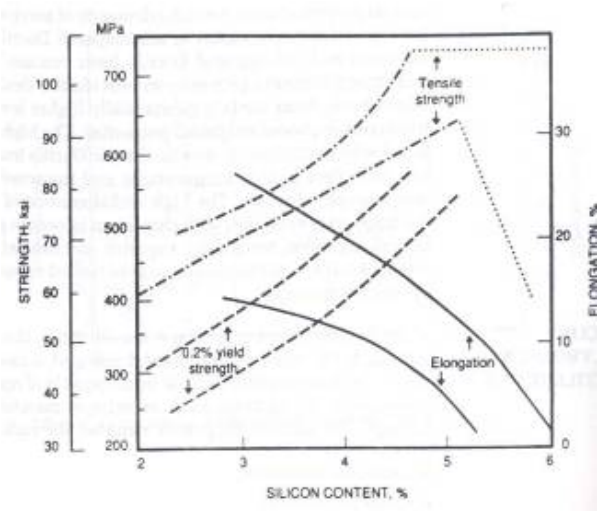
ب

شکل ۵ -ساختار قطعه ساکت آی سالم الف) نیروی ۱۴۲ کیلو نیوتن(S1)ب) نیروی۶۸ کیلو نیوتن(S 2) ، بزرگنمائی ۱۰۰

بررسی درشت ساختاری مقطع شکست نمونه تخریب شده(ساکت آی) بیانگر شکست از نوع ترد می باشد و بررسیهای متالوگرافی در مقاطع شکست و دور از شکست نیز بیانگر وجود گرافیت های کروی که در بعضی مقاطع متلاشی شده و یا به شکل کرمی در آمده در بستری از فاز فریت به همراه یوتکتیک پرلیت –سمانتیت (لدبوریت) می باشد. لازم به ذکر است که عمل تلقیح منیزیم و نحوه سردن بخوبی صورت نگرفته است و منجر به تشکیل فاز یوتکتیکی پرلیت –سمانتیت (لدبوریت) گردیده که موجب تردی و غیر یکنواختی خواص مکانیکی قطعه شده است. عملیات پایانی آنیلینگ هم نتوانسته این عیب را بر طرف نماید. جهت بررسی بیشتر ریز ساختار قطعه تخریب شده و مقایسه آن با نمونه سالم، دو نمونه کارنشده (S2,S1) به طور اتفاقی انتخاب و بر روی آنها آزمون کشش، سختی و بررسی ساختاری انجام گردید. نمونهS1 دارای ساختار با زمینه فریتی و گرافیتهای کروی می باشد و عمل تلقیح منیزیم در شرایط ریخته گری

چدن باعث تشکیل گرافیتهای کروی (۸۰-۹۰٪) و با توزیع مناسب صورت گرفته است و برای حصول انعطاف پذیری و کاهش تردی قطعه تحت عملیات حرارتی آنیلینگ قرار گرفته است که منجر به ایجاد بستری از فاز فریت شده است. نتیجه آزمون کشش (۱۴۲ کیلونیوتن) نیز دلیل بر صحت ساختار می باشد. اما درساختار متالوگرافی نمونه S2 گرافیتهای نه کاملا کروی (پخش شده و کرمی) در زمینه فریتی به وضوح دیده می‌شود که بیانگر آنست که عمل تلقیح منیزیم در فرایند ریخته گری بخوبی انجام نشده است و میزان تشکیل گرافیت کروی محدود می باشد. که نتایج آزمون کشش بیانگر این مطلب می‌باشد (در پایین‌تر از حد مجاز شکسته است) (شکلهای ۳ تا ۵) .

با بررسی آنالیز شیمیائی قطعه ساکت آی تخریب شده مشخص گردید که عنصر سیلیسیم در مقادیر بالاتر از ۳ درصد وزنی (۵/۵۷ درصد وزنی) می‌باشد که این نیز عاملی است که باعث تشکیل فاز فریت ترد در زمینه می‌گردد. علاوه بر آن طبق استانداردهاو ازجمله استاندارد کارخانه ای BL 4440 Mercedes-Benz AG مقدار مجاز سیلیسیم در تمامی گریدهای چدن داکتیل از GGG40 تا GGG80 در محدوده مجاز ۱/۶ تا ۳ درصد وزنی باید باشد.



شکل ۶- رابطه استحکام و درصد سیلیسیم در چدن داکتیل

شکل (۶) در تایید استاندارد DBL 4440، نشاندهنده آن است که‌در چدن داکتیل با ساختار شامل ۳ درصد وزنی استحکام کششی ۴۰۰ مگا پاسکال (حداقل استحکام کششی چدن داکتیل گرید GGG40) می‌باشد، و با افزایش مقدار سیلیسیم تا ۵ درصد استحکام به مقدار ۲۵۰ مگا پاسکال کاهش می‌یابد. گزارش‌های آزمون کشش و سختی گرفته شده از مقاطع افت استحکام را تایید می‌کند.

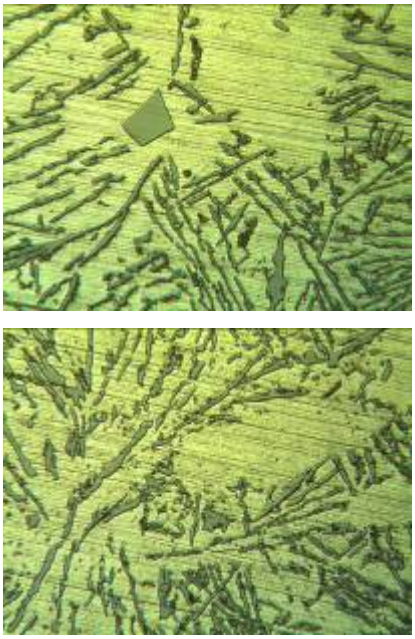
مقدار عنصر گوگرد باقی مانده در ساختار نیز در مقادیر ماکزیمم می باشد و این نشاندهنده واکنش گوگرد اضافی با منیزیم در فرایند تلقیح ذوب (کروی کردن با فرو سیلیکو منیزیم) و در نهایت تولید فازسولفید منیزیم و گرافیت‌های منفجر شده می‌باشد (در تصاویر مقاطع میکروسکوپی مشهود است) .

با توجه به مقدار کربن پایین ذوب و درصد سیلیسیم بالا می‌توان نتیجه گرفت عملیات ذوب در کوره دوار انجام شده است زیرا بدلیل سوخت زیاد کربن (شمش‌های تجاری ۳/۹ تا ۴/۱ درصد کربن دارند) در تماس مستقیم با شعله مقدار کربن کاهش می‌یابد و جهت انجام عملیات ریخته‌گری با کوره‌های دوار برای جلوگیری از کاهش سیالیت ذوب و دستیابی به کربن معادل بالاتر مقدار سیلیسیم بیشتری استفاده می‌کنند، که این امر ناخواسته منجر به تردی ساختار فریت و شکنندگی قطعات می گردد. با توجه به اینکه مقدار سیلیسیم در ذوب کوره‌های متفاوت (تاریخهای مختلف ذوب) متفاوت است برخی از قطعات تولیدی با یک کوره عیب مشابه را خواهند داشت. از طرفی با توجه به عدم وجود کد شناسائی و ردیابی محصول باید تمامی قطعات تولید شده تحت آزمون ضربه مکانیکی قرار گرفته و یا در صورت وجود دستگاه ادی کارنت آزمون غیر مخرب بر روی آنها انجام گیرد.

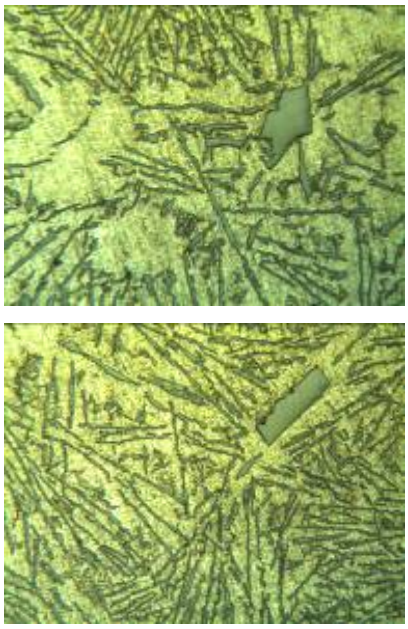
ب) کلمپ آویز

در ابتدا هر دو نمونه سالم و شکسته مورد بازرسی چشمی قرار گرفتند. در محل شکست نمونه آسیب دیده تعداد زیادی مک و حفره وجود داشت و در نمونه سالم در بعضی مقاطع مکهای کوچکی ناشی از ریخته گری وجود داشت که در طی آزمون مایعات نافذ بر روی آنها، به وضوح قابل مشاهده بود. نتایج حاصل از آزمون ذرات مغناطیسی نیز بیانگر وجود ترکهائی در ساختارمی باشد که با توجه به استانداردهای

ریخته‌گری در حد مجاز نمی باشد و قطعه از نظر بازرسی غیر مخرب مردود اعلام گردید.



شکل ۷ –ساختار قطعه کلمپ آویز شکسته شده ، بزرگنمائی ۲۰۰



شکل ۸ –ساختار قطعه کلمپ آویز سالم ، بزرگنمائی ۲۰۰

بررسی درشت ساختاری مقطع شکست نمونه تخریب شده بیانگر شکست از نوع ترد می باشد و بررسیهای متالوگرافی در مقاطع ترک و دور از ترک نیز بیانگر وجود سیلیسیم های درشت که در بعضی مقاطع مکعبی شده است می‌باشد(شکل ۷) .لازم به ذکر است که جهت بررسی بیشتر ریز ساختار قطعه تخریب شده و مقایسه آن با نمونه سالم، یک نمونه نو انتخاب و بر روی آن آزمون کشش و بررسی ساختاری انجام گردید. درساختار متالوگرافی نمونه سالم نیز مقدار زیادی سیلیسیم به وضوح دیده می‌شود که البته با ابعاد کوچکتر و تراکم بیشتر(شکل ۸) مشاهده شد، نتیجه آزمون کشش شکست قطعه به صورت کاملا ترد در نیروی ۴۸ کیلونیوتن را نشان داد . با وجود آنکه بالاتر از مقدار استاندارد این قطعه (۴۵کیلونیوتن) می باشد ولی نحوه شکست و نیز بررسی مقطع شکست از لحاظ مک و حفره نیز دلیل بر عدم صحت ساختار می باشد(شکل های ۱و ۲) .

با بررسی آنالیز شیمیائی قطعه تخریب شده مشخص گردید که عنصر سیلیسیم در مقادیر بالای ۱۲/۴ درصد وزنی برای قطعه تخریب شده و ۱۲/۲۴ درصد وزنی برای قطعه سالم می‌باشد که این خود نشاندهنده جنس آلیاژ آلومینیوم LM6 می باشد، در صورتی که در آلیاژ ۳۵۶ درصد سیلیسیم در محدوده مجاز ۶/۵ تا ۷/۵ درصد وزنی و آلیاژ ۴۱۳ (LM2) نیز باید در محدوده ۹ تا ۱۱/۵می باشد.(نوع آلیاژ معمولا با توجه به روش ریخته‌گری انتخاب می شود به طوری که در روش ماسه ای از آلیاژ ۳۵۶ و در روش ریژه و دایکاست از ۴۱۳ استفاده می شود). در کلمپ مورد بررسی با توجه به وجود مک و حفره در سطح و در مقطع شکست و ظاهر قطعه ، بیانگر تولید قطعه به روش ریخته‌گری ماسه‌ای می باشد ولی آلیاژ قطعه با آنچه که باید مورد استفاده قرار گیرد کاملا متفاوت می باشد و به همین دلیل دارای ساختار ترد با درصد سیلیسیم بالا در ساختار می باشد. بررسیهای به عمل آمده بر روی منابع بیانگر این مطلب است که در صورت استفاده از آلیاژ LM6 باید از عناصر آلیاژی مانند سدیم و استرانسیم به عنوان بهساز و نیز از آلیاژهائی مانند Ti-B برای ریز کردن دانه و بهبود خواص متالورژیکی استفاده شود. بررسی آنالیز گرفته از کلمپ ها و نیز ساختار مشاهده شده، بیانگرعدم استفاده از این عناصر می باشد. بنابراین با توجه به نامناسب بودن ساختار در قطعه شکسته شده و همچنین قطعه سالم (به نسبت

کمتر) بیانگر عدم دقت در انتخاب مواد اولیه ، آلیاژ سازی و ریخته گری نامناسب می باشد .

نتیجه گیری

- بررسیهای ساختاری مقطع شکست قطعه ساکت آی بیانگر شکست ترد می‌باشد که به دلیل بالا بودن درصد سیلیسیم آلیاژ می باشد و از طرفی وجود گرافیتهای متلاشی بیانگر وجود گوگرد زیاد می‌باشد.
- طبق استاندارد قطعه ساکت آی از جنس چدن داکتیل باید سختی ۱۷۰-۲۱۰ برینل داشته باشد اما همانطور که از نتایج سختی سنجی مشخص است سختی ۳۲۹ برینل است که نشاندهنده ترد شدن قطعه میباشد.
- بررسیهای ساختاری مقطع شکست کلمپ آویز بیانگر وجود تعداد زیادی مک و حفره و نیز شکست ترد می‌باشد،که به دلیل نامناسب بودن آلیاژ و ریخته گری می باشد و از طرفی وجود سیلیسیم های درشت و گاها مکعبی بیانگر وجود درصد بالای این عنصر و عدم استفاده از ریزکننده ها و بهسازها در ریخته‌گری آن می‌باشد.

پیشنهادات

در کنترل کیفی قطعات ریختگی باید دقت زیادی به آنالیز شیمیائی قطعات گردد و پس از ریخته گری قطعات باید مورد بازرسی چشمی و حداقل آزمون مقاومت به ضربه (کارخانه ای) و در صورت امکان سختی سنجی و آزمون غیر مخرب بر روی قطعات انجام شود.

مراجع

1) Technical guide-NGK Insulators LTD, (Cat. No. 91) www.tavanir.ir
2) IEC 61284, "Overhead lines requirement and test for fittings ", 1998.
3) BS 3288, "Insulator and conductor fittings for overhead power lines", part 1- 4 performance and general requirement, 1997.
4) IEC 60372, " Locking devices for ball and socket coupling of ring insulator units: dimensions and tests", 1991.
5) IEC 60120, "dimension of ball and socket coupling of string insulator its 1989.
6) K.D.Millis, “Ductile Iron Data for Design Engineers" Copyright 1990 by oit-Fer et Titane inc.
7) Supply-Specification, Cast Iron with Spheroidal Graphite (spheroidal Cast Iron)”, Mercedes-Benz AG,DBl 4440.
8) Standard ASME,"Methods for Magnetic Particle Examination (MT), Appendix 6, 1998.
9)http://www.premieraluminum.com/capabilities_aluminumalloys.html
10)http://www.lcl-castng.co.uk/lm2_alloy.php
11) http://www.atlasmetal.com/356-aluminum-casting-alloy.php
12) C.R.Tamm,"Application Dynamics of High Temperature Conductors in Suspension Clamps".
13) Y.P.Lim,"Evaluation of Al-5Ti-1B and Al-10Sr in LM6 Sand Castings" JAMME, Vol, 34, 2009.
14) F. Yimaz, O.A.Atasoy, Growth Structures in Al-Si Alloys-The Influence of Strontium, Journal of Crystal Growth 118, 1992.