

## مقره کامپوزیتی: طراحی، ساخت و آزمایش

کلید واژه: مقره کامپوزیتی - چترک - غلاف - فاصله خزشی - یراق آلات

### چکیده:

در این پژوهش ابتدا طراحی مقره‌های کامپوزیتی رده‌های ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ کیلوولت براساس استانداردهای مطرح در این مقوله (با وجه غالب IEC) انجام گرفت، سپس با استفاده از طراحی‌های مزبور، اجزاء مقره‌ها (چترک، غلاف و یراق آلات) ساخته شده و در فرآیندهای خاصی مونتاژ گردید. بدیهی است مقره‌هایی را میتوان با اطمینان استاندارد دانست و در خطوط مورد بهره‌برداری قرار داد که از آزمون‌هایی ویژه (عموماً تحت مدارک IEC و ASTM) گذر کرده باشند؛ در همین راستا، مقره‌های ساخته شده تحت تست‌های مورد نظر قرار گرفت و در نهایت قیاس این نتایج با نتایج حاصل از آزمون مقره‌های کامپوزیتی خارجی، حاکی از عملکرد مناسب مقره کامپوزیتی ساخته شده در پژوهشگاه نیرو می‌باشد.

### مقدمه

ضرورت استفاده از مقره‌های کامپوزیتی غیرسرامیکی با مشخصه وزن کم و خواص الکتریکی و مکانیکی بالا جهت استفاده در خطوط انتقال و توزیع بیش از ۴۰ سال پیش به شدت احساس شد. امروزه مقره‌های کامپوزیتی به خوبی جایگزین مقره‌های پرسیلانی و شیشه‌ای شده‌اند و به عنوان محصولاتی کاملاً شناخته شده و مناسب در خطوط ولتاژ بالا استفاده می‌شوند. به کارگیری مقره‌ی کامپوزیتی سبک که بعضاً ۱۰٪ وزن مقره‌های پرسیلانی را دارا می‌باشد سبب گسترش و تقویت تفکر

و امکان استفاده در خطوط مگاولتی گردیده است. [۱] و [۲]

اصول اصلی ساخت مقره‌های کامپوزیتی بر مبنای استفاده از یک هسته کامپوزیتی که وظیفه آن تحمل بار مکانیکی وارد شده از طرف سیم هادی به آن و انتقال این نیروی کششی به برج است که برای محافظت از هوازدهی و اثرات مخرب رطوبت و نیز افزایش ولتاژ و جریان خزشی قابل تحمل، [۳] این هسته را توسط روکشی از لاستیک سیلیکونی می‌پوشانند و یراق‌آلات مورد نیاز نیز به دو انتهای میله هسته مقره با استفاده از فرآیند خاصی متصل می‌شود. [۴] که البته در طراحی و ساخت این مقره‌ها از چسب‌ها، عوامل پخت، آب‌بندها در موارد مختلف استفاده می‌شود. [۵]

### اصول طراحی الکتریکی:

آنچه می‌گذرد، نگاهی است به مراحل طراحی الکتریکی مقره‌های کامپوزیتی - به طور کلی - و محاسبه پارامترهای مربوط به سطوح ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ در رنج استاندارد: ۷۲/۵ کیلوولت، به شکل اخص.

همانگونه که خواهد آمد، مرجع غالب در استخراج مقادیر استاندارد، مدارک IEC بوده است تا با تکیه بر صرفاً یک نوع از مدارک، اصل مهم هماهنگی عابقی [1] رعایت گردد. البته در تأثیر پارامترهای مربوط به اضافه ولتاژها [2] ii (همچون صاعقه [3] iii)، از به کارگیری استانداردهایی چون BS, IEEE و ASTM گریزی نیست.

### الف- تعیین اضافه ولتاژ خط:

این تعیین از آن جهت دارای اهمیت است که مرجعی برای انتخاب "سطح ایزولاسیون [4] iv" مناسب محسوب می‌گردد.

با انواع اضافه ولتاژها در خطوط توزیع و انتقال آشنا هستیم. مهمترین آنها که قابل تأثیر در عملکرد مقره است، عبارتند از: صاعقه و کلیدزنی [5] v (اثر اضافه ولتاژ طبیعی سیستم در تلورانس

طبیعی 5%± و نیز اضافه ولتاژهای ناشی از اتصال کوتاهها [6] vi بر کارکرد مقره اندک است).

لذا ولتاژهای معیار مطرح در جهت انتخاب سطح ایزولاسیون، "حد تحمل ولتاژ ضربه صاعقه [7]vii"، "حد تحمل ولتاژ ضربه کلیدزنی [8]viii"، (فاز به زمین و فاز به فاز) و حد تحمل ولتاژ با فرکانس قدرت [9]ix" می‌باشند.

استاندارد IEC ارائه میزان مقادیر قابل تحمل ایزولاسیون‌ها را در سه دسته متفاوت A, B, و C مورد بحث قرار داده است که به ترتیب مقادیر (r.m.s) کمتر از ۵۲ کیلوولت، بین ۵۲ تا ۳۰۰ کیلوولت و بیش از ۳۰۰ کیلوولت را شامل می‌شوند. بحث ما به دو دسته A و B منحصر می‌شود که در آن، طبق بیان استاندارد، صرفاً اضافه ولتاژ ناشی از ضربه صاعقه در نظر گرفته می‌شود. (چرا که با توجه به احتمال وقوع هر یک از پدیده‌ها فرض وقوع همزمان آنها، آنها در سطوح ولتاژ پایین به عنوان یکی از فروض اولیه طراحی، منطقی نیست).

از این به بعد، شرح مراحل طراحی در مورد رده ۲۴ KV پی گرفته می‌شود که برای دیگر موارد نیز مشابه است.

در پایان نتایج حاصل از طراحی رده‌های گوناگون ارائه خواهد شد.

سطح ولتاژ ۲۴ KV در طبقه‌بندی‌های موجود، در دسته استاندارد A قرار گرفته و با توجه به جدول بندی استاندارد و نیز تجهیزات سیستم، لازم است تا ضربه صاعقه‌ای در حدود ۱۲۵ KV را تحمل نماید.

ب- فاصله عایقی (سطح ایزولاسیون):

همانگونه که ذکر شد، صرف عنایت به حد ضربه صاعقه، در این ولتاژ، دیگر موارد اضافه ولتاژ را نیز شامل شده، جهت قضاوت در باب فاصله ایزولاسیون کافی است. این پارامترها از طریق گوناگونی قابل دستیابی است؛ و البته هر یک از این روشها، به نتایجی جداگانه می‌انجامد که قضاوت در این میان نیز قابل تأمل است.

در استناد به IEC 71-3 [۷]، فاصله عایقی ۲۲۰ mm به ازای حد ضربه صاعقه ۱۲۵KV توصیه شده است و [۸] IEC 61466-2، که اختصاصاً در رابطه با مقره‌های کامپوزیتی و البته با پیش‌فرض مقدار ۱۶ mm/KV برای پارامتر "ضرب خزشی ویژه [10]x" ارائه شده است، حداقل این مقدار را ۲۱۰ mm برآورد می‌کند. و بالاخره، روش دیگر، توسل به روابط تجربی موجود است. از روابط مشهور در این زمینه، فرمول پاریس [11]xi در زیر آمده است:

$$V = K \frac{3/384}{1 + 8/d}$$

که در آن، V، ولتاژ قابل تحمل برحسب MV؛ d فاصله عایقی برحسب متر و K، ضریب ثابت متناسب با شکل الکترودهاست. [12]xii با جایگزینی K=۱/۳۵ و V=۰/۱۵۲ فاصله عایقی برابر با ۰/۲۲۵ m یا ۲۲۵ میلیمتر به دست می‌آید. که موید طول بیشتر بیان شده در استاندارد است، لذا از میان مقادیر حاصله، به منظور اعمال اطمینان بیشتر، St=۲۲۰ mm انتخاب شد.

ج- پارامترهای دیگر:

پارامترهایی از قبیل قطر چترها، طول یراق‌آلات، قطر هسته و ضخامت غلاف، بعضاً تجربی بوده، با توجه به عواملی چون نیروهای مکانیکی، تجربه‌های آزمایشی، پارامترهای عملیات اتصال فشاری [13]xiii و ... به دست می‌آیند. استاندارد، به هیچ یک از آنان تصریحی ندارد و بعضاً حدودی را بیان کرده (مثلاً قطر چترک در ۲۴ KV و ۶۳ نباید از ۲۰۰ mm بیشتر باشد) [۸].

شکل (۱) مقطعی فرضی از مقره را نشان می‌دهد.

طبق تعریف:

$$AB+BN+NC=L$$

$$STF_{xiv}[14] = TG = RE$$

$$\text{خزشی فوقانی} = AM+ME$$

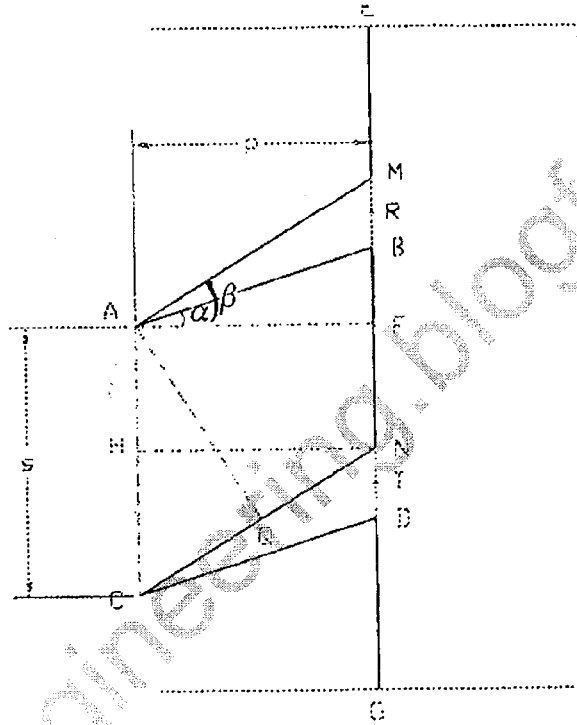
$$\text{خزشی تحتانی} = CD+DG$$

$$r = \text{شعاع انحنای سر چترک}$$

$$Ld = AB + BN + NQ$$

$\alpha$  = زاویه سطح پایین چتر با افق

$\beta$  = زاویه سطح بالایی چتر با افق



$$P = \frac{140}{2} - \frac{22}{2} = 59 \text{ mm}$$

شکل ۱- مقطع فرضی از مقره  $C = d = AQ$

طبق رأی استاندارد،  $s/p > 0.18$  (یا  $0.165$  برای چترهای عادی [15] xv) لذا  $s = 46$  mm مطلوب است.

تعداد چتر، حداقل فاصله خزشی و ضرایب مقایسه‌ای استاندارد [۹]، همگی باید به نحوی هماهنگ تعیین گردند. با این نگرش که حتی‌الامکان، جهت فواصل کلیدی در مراحل ساخت نیز اعداد صحیح به دست آیند.

اگر  $n$ ، تعداد چتر باشد، داریم:

$$St = 2STF + (n-1)s$$

با توجه به  $St = 220$  و  $s = 46$ ، باید مقادیری برای  $n$  و  $STF$  یافت که علاوه بر صحیح بودن، شرایط کلی و رابطه فوق را برآورده سازند.  $n = 4$  و  $STF = 41$  mm مناسبند.

د- کنترل مقادیر با توجه به شرایط استاندارد:

در IEC 815 [۹]، شرایطی جهت کنترل مقادیر و فواصل مربوط به مقره‌های شیشه‌ای و پیرسلان ارائه شده که با توجه به فلسفه وجودی آنها، برای مقره کامپوزیتی نیز قابل اعتمادند.

- فاصله خزشی:

حداقل فاصله خزشی [mm] برابر است با

$$[KV] \text{ ولتاژ کارکرد} \times [mm/KV] \text{ فاصله خزشی ویژه}$$

فاصله خزشی ویژه متناسب با آلودگی محیط تعریف می‌شود [۹]، در مناطق سبک، متوسط، آلوده و سنگین، به ترتیب برابر با ۱۶، ۲۰، ۲۵ و ۳۱ mm/KV است و لذا در سطح KV ۲۴، حداقل فاصله خزشی در مناطق آلوده (که موردنظر در طراحی ما بوده است) برابر با ۶۰۰ mm به دست می‌آید.

اینک باید فاصله خزشی مقره طراحی شده را با این "حداقل" مقایسه نمود. از بیان روش‌های هندسی مورد استفاده در این محاسبات صرف‌نظر کرده، به ارائه روابط حاصله اکتفا می‌شود. (در این

محاسبات تقریبی، انحنای موجود در سطح چترها، خط راست قلمداد شده و لذا دارای حدود ۴٪  
خطا می باشد).

فاصله خزشی بین چتری :

$$L = p \left( \frac{1 + \sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{1 - \sin \beta}{\cos \beta} \right) + \frac{\pi r}{2}$$

$$C = s \cdot \cos \beta$$

$$L_u = p \left( \frac{1 + \sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{1 - \sin \beta}{\cos \beta} \right) + s(1 - \sin \beta)$$

فاصله خزشی فوقانی =  $L_u$  فاصله خزشی کل

فاصله خزشی بین چتری (n-1) +

فاصله خزشی تحتانی +

$$= np \left( \frac{1 + \sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{1 - \sin \beta}{\cos \beta} \right) + \frac{n\pi r}{2} + S_i$$

در مثال موردنظر ما، فاصله خزشی کل برابر با ۶۸۸ mm به دست می آید (با تصحیح خطای محاسباتی، ۷۱۶ mm) که بسیار بیش از حداقل به دست آمده است.

در جدول (۱)، مبنای طراحی مقره در سطوح ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ کیلوولت ارزیابی شده (توجه شود که سطوح ۱۷/۵ و ۲۴ کیلوولت به رنج A استاندارد و سطح ۶۳ به رنج B وابسته اند). جدول (۲) حاوی اطلاعاتی در باب ظرایب نسبی استاندارد در قیاس با مقادیر حاصل از طراحی انجام شده می باشد.

همانگونه که مشخص است، تمامی پارامترهای مطرح، از شروط تعیین شده استاندارد تبعیت می کنند؛ و البته این امر، در تأیید کارکرد درست مقره کافی نیست بلکه مقره باید در آزمون های مربوطه نیز، آنگونه که استاندارد تعیین می کند، پاسخگو باشد.

پارامتر	واحد	مقادیر		
		۱۷/۵	۲۴	۶۳
ولتاژ کارکرد	KV	۱۷/۵	۲۴	۶۳
حد ضربه صاعقه	KV	۷۵	۱۲۵	۳۲۵
حد ولتاژ متناوب (فرکانس قدرت)	KV	۳۸	۵۰	۱۴۰
فاصله عایقی	mm	۱۶۵	۲۲۰	۶۳۰
قطر چترک	mm	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰
قطر هسته با غلاف	mm	۲۲	۲۲	۲۲
شیب سطح روی چترک	%	۲۷/۵۶	۲۷/۵۶	۲۷/۵۶
شیب سطح زیر چترک	%	۱۳/۹۲	۱۳/۹۲	۱۳/۹۲
فاصله عمودی سرد و چتر مجاور (S)	mm	۴۲	۴۶	۴۸
فاصله نقطه بالایی بالاترین چتر تا یزاق و فاصله نقطه پایینی چتر پایین تا یزاق	mm	۲۸/۵	۲۹	۱۵
طول غلاف عریان بین هر دو چتر	mm	۱۸	۲۲	۲۴
طول کل مقره	mm	۳۹۹	۴۵۴	۸۶۴
فاصله خزشی ویژه مفروض (S. C. D)	mm/KV	۲۵	۲۵	۲۵
فاصله خزشی کل	mm	۵۳۷	۷۱۶	۲۲۴۰
حدود بار وارده در شرایط نرمال	KN	۱۵	۱۷	۲۷
حدود بار وارده در شرایط سخت	KN	۲۲	۲۵	۳۰
بار مکانیکی ویژه مفروض (S. M. L)	KN	۴۰	۷۰	۷۰
تعداد چترک	قالب	۳	۴	۱۳

جدول ۱- طراحی مقره در سطوح ۱۷/۵، ۲۴ و ۶۳ (KV)

جدول ۲- ضرایب مقایسه‌ای استاندارد در طراحی الکتریکی مقره‌ها



نام پارامتر	نماد	واحد	شرط استاندارد	دلیل شرط گذاری	مقدار به دست آمده		
					۶۳KV	۲۴ KV	۱۷/۵KV
فاصله خزشی	$L_1$	mm	min: ۱۵۷۵, ۶۰۰, ۲۳۸	تلف کردن جریان خزشی	۲۲۴۰	۷۱۶	۵۳۷
نسبت ارتفاع به شعاع	S/P	-	min: ۰/۶۵	عدم افزایش بی رویه فاصله خزشی، شکل بندی مناسب مقره، خود پالایندگی مناسب	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۷۱
نسبت فاصله خزشی و فاصله مجاز	$L_1/d$	-	max: ۵	جلوگیری از اتصال کوتاه های بین چترها	۳/۱۹	۳/۲۹	۳/۶۸
ضریب خزشی	$CF = \frac{L_1}{S_1}$	-	max: ۴	عدم افزایش بی رویه مساحت چترک	۳/۵۶	۳/۱۲	۳/۲۵
ضریب شکل	$PF = \frac{2P+S}{L_1}$	-	min: ۰/۸	تناسب شکل مقره	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷
حداقل فاصله بین دو چتر	C	mm	min: ۳۰	جلوگیری از اتصال کوتاه بین چترها در شرایط آب و هوایی نامناسب	۴۷	۳۵	۴۰/۴
شیب سطح رویی	-	%	min: ۸/۷	تناسب شکل مقره، خود پالایندگی مناسب	۲۷/۵۶	۲۷/۵۶	۲۷/۵۶
شیب سطح زیری	-	%	min: ۳/۵	تناسب شکل مقره، خود پالایندگی مناسب	۱۳/۹۲	۱۳/۹۲	۱۳/۹۲

### پروسه ساخت و مونتاژ مقره کامپوزیتی

اصولاً ساخت مقره کامپوزیتی از طریق سه تکنیک زیر صورت می گیرد:

۱- ۱- هسته - اعمال غلاف بر روی هسته از طریق اکسترود / تزریق / قالب فشاری - ساخت

چترک ها به صورت مجزا - مونتاژ چترک بر روی غلاف - چسباندن یراق آلات به دو انتهای هسته - آب بندی.

۲- ۲- هسته کامپوزیتی - چسباندن یراق آلات به دو انتهای هسته - اعمال روکش یکپارچه

با استفاده از روش های تزریق یا پرس قالب.

۳- ۳- هسته کامپوزیتی - اعمال روکش یکپارچه با استفاده از روش تزریق یا پرس

چسباندن یراق آلات به دو انتهای هسته - آب بندی

در اینجا به منظور ساخت مقره کامپوزیتی روش (تکنیک) اول را انتخاب نمودیم. این تکنیک به

دلیل دارا بودن قابلیت تولید مقره کامپوزیتی با حداقل ضایعات و همچنین رده های مختلف توزیع با

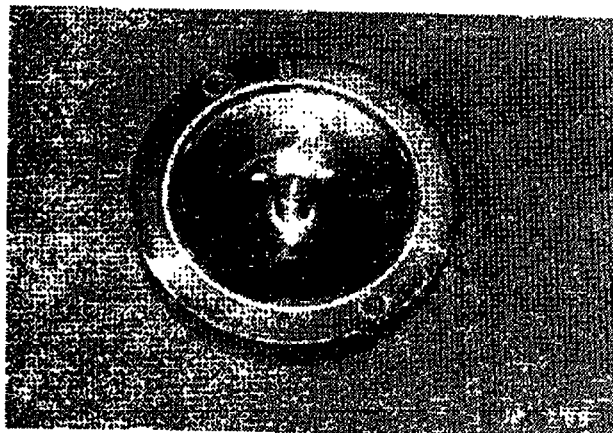
یک قالب چترک از مزیت خاصی نسبت به روش های دیگر برخوردار است.

الف- ساخت هسته:

هسته مقره کامپوزیتی شامل یک میله کامپوزیتی است که متشکل از دو جزء اصلی ماتریس و فایبرهای تقویت کننده است. ماتریس از جنس رزین اپوکسی و فایبر تقویت کننده از نوع شیشه E می باشد که این فایبرهای شیشه‌ای به طور موازی، هم جهت در تمام طول میله قرار گرفته‌اند. جهت دستیابی به ۷۵-۷۰٪ وزنی کل میله کامپوزیتی تشکیل شده از فایبرهای شیشه‌ای، میله هسته به وسیله فرآیند پولترون ساخته می‌شود. البته فرآیندهای (روش‌های) دیگری همانند لایه گذاری و فیلا کنت و ایندینگ و ریخته‌گری به منظور ساختن هسته کامپوزیتی وجود دارد. منتها از این روش‌ها نمی‌توان درصد‌های بسیار بالا (۷۰ تا ۷۵ درصد) الیاف شیشه در ساخت هسته به کار گرفت. به همین دلیل استحکام کششی هسته‌های کامپوزیتی که از روش پولترون به دست می‌آید بالاتر از روش‌های دیگر می‌باشد. در پژوهشگاه نیرو به دلیل عدم دستیابی به دستگاه پولترون هسته کامپوزیتی را از طریق شرکت‌های سازنده هسته خریداری گردید که البته در کنار این قضیه هسته‌هایی با روش لایه‌گذاری و فیلامنت و ایندینگ و ریخته‌گری جهت مقایسه ساخته شد.

ب- ساخت چترک:

روش انتخابی جهت ساخت چترک مقره کامپوزیتی از طریق قالب‌گیری تحت فشار با استفاده از مواد لاستیک سلیکون HTV می‌باشد. در اینجا ابتدا پایه لاستیک سلیکون را با درصد مشخصی از فیلر ATH [16] xvi (۳۵ تا ۴۰ درصد) در دستگاه بنبوری آمیزه‌کاری نموده، سپس به منظور افزودن DCP با استفاده از دستگاه میل، به مدت پانزده دقیقه هموزن نموده و Plate‌های مشخصی از لاستیک آمیزه‌کاری شده را در داخل قالب چترک قبلاً تا دمای  $200^{\circ}\text{C}$  گرم شده است قرار داده، قالب همراه با لاستیک را زیر دستگاه پرس گرم قرار می‌دهیم. مدت زمان و دمای قرارگیری در دستگاه پرس قبلاً توسط دستگاه رنومتر مشخص می‌گردد. شکل زیر شمای قالب چترک مورد نظر را نشان می‌دهد:



شکل (۲) قالب چترک مفره کامپوزیتی تا رده ۶۳ KV

ج- ساخت غلاف:

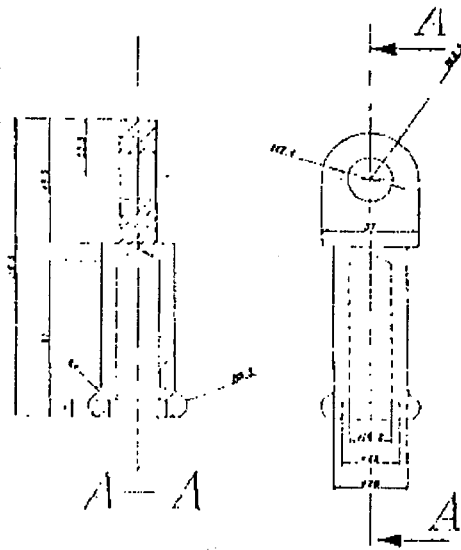
یکی از مهمترین تکنیک‌های ساخت (اعمال) غلاف بر روی هسته کامپوزیتی، استفاده از روش اکسترودر می‌باشد. در پژوهشگاه نیز به منظور ساخت بهینه غلاف از روش قالب‌گیری تحت فشار و تزریق استفاده شد. در این روش سطح هسته کامپوزیتی قبل از قرار گیری در داخل قالب غلاف توسط فرآیندهای خاص آماده‌سازی سطحی صورت می‌گیرد. بدین گونه که ابتدا سطح هسته کمی زبر شده سپس پرایمر بر روی سطح هسته زبر شده با استفاده از اسپری به طور یکنواخت پاشیده می‌شود. استفاده از پرایمر به منظور برقراری اتصال کامل بین دو جزء غلاف لاستیک سیلیکونی و هسته کامپوزیتی می‌باشد، لاستیک سیلیکون غلاف هم‌جنس با لاستیک چترک می‌باشد لذا همان روش جهت تهیه و آمیزه‌کاری و قالب‌گیری چترک لاستیک سیلیکون می‌باشد. شکل (۳) قالب غلاف را نشان می‌دهد.



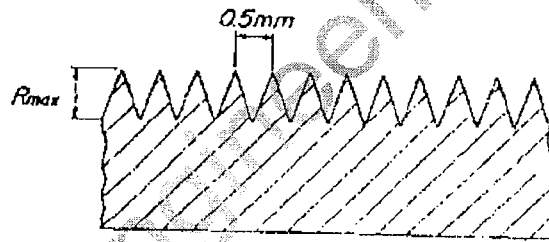
شکل (۳) قالب غلاف لاستیک سیلیکونی جهت ساخت مقره کامپوزیتی ۱۷/۵ و ۲۴ و ۶۳ کیلوولت

د- ساخت یراق آلات:

در اینجا به منظور ساخت یراق آلات مقره کامپوزیتی از فرآیند فرج و ماشین کاری با نقشه یراق ساخته می شود. از آنجا که یراق آلات از طریق هسته کامپوزیتی به کل مقره متصل می گردد، جهت برقراری اتصال مابین هسته و یراق آلات از روش سیستم فشاری و چسب که در شکل زیر نشان داده شده است استفاده می گردد، به منظور فراهم سازی اتصال بهینه، عاج دار نمودن سطح داخلی یراق که در تماس با هسته می باشد سبب افزایش تا سطح تماس بین هسته، چسب و یراق خواهد شد. این مورد در شکل (۵) به خوبی نشان داده شده است. استفاده از این روش خان گذاری سبب گردیده تا در یک فشار یکسان استحکام کششی اتصال ۱۵ درصد افزایش یابد.



شکل (۴) نقشه یراق آلات مقره کامپوزیتی ۱۷/۵ و ۲۴ و ۶۳ کیلوولت



شکل (۵) نمای ایجاد خان در داخل یراق آلات مقره کامپوزیتی و ۲۴ و ۶۳ کیلوولت

ه- مونتاژ اجزاء مقره کامپوزیتی:

پس از ساخت اجزاء مقره کامپوزیتی نوبت به مونتاژ می‌رسد. در اینجا ابتدا چترک‌های ساخته شده بر روی غلاف روکش داده شده بر هسته کامپوزیتی با استفاده از اعمال فشار و برچسب در محل‌های خاص که قبلاً در طراحی در نظر گرفته شده است قرار داده می‌شود. در نهایت غلاف و روکش را جهت پخت کامل در دمای  $200-210^{\circ}\text{C}$  در داخل Oven به مدت ۲ تا ۴ ساعت قرار می‌دهیم. سپس یراق آلات را به دو انتهای هسته با استفاده از فرآیند چسب و فشار (سویچ) متصل می‌کنیم. به منظور جلوگیری از نفوذ آب یا رطوبت و آلودگی به هسته، محل اتصال هسته و یراق را با استفاده از آب‌بندی‌های سیلیکونی از نوع RTV به خوبی آب‌بندی نموده پس از گذشت زمان ۲۴ ساعت به

منظور دستیابی به شرایط کامل چسب و آببندی مقره را جهت تست، تحت آزمایشهای الکتریکی و مکانیکی قرار می‌دهیم.

تست‌های الکتریکی و مکانیکی:

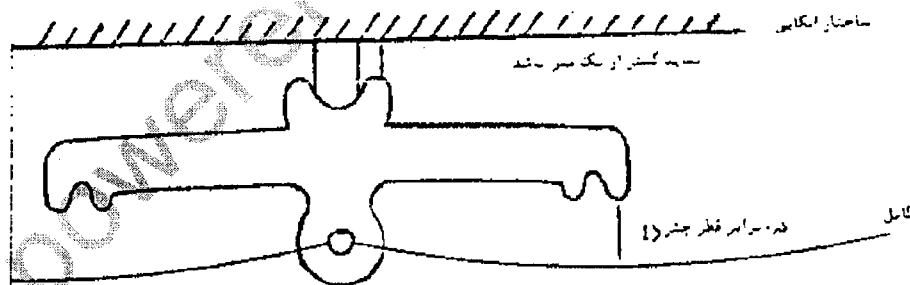
مقره‌های ساخته شده در پژوهشگاه نیرو، در ابتدا تحت آزمون الکتریکی قرار گرفته، پس از عبور از آن، تحت آزمون کشش قرار می‌گیرند.

۱- مهمترین آزمون‌های الکتریکی

آزمون‌های الکتریکی بر روی اجزاء تشکیل دهنده مقره کامپوزیتی و مقره ساخته شده، هر دو مطرحند. که در اینجا به دلیل ضیق مجال، به صرف بیان مورد اخیر اکتفا میشود.

الف- آزمون ضربه صاعقه در شرایط خشک [17] xvii

از جمله آزمون‌های نوعی [18] xviii است (یعنی به منظور تعیین مشخصات اصلی مقره همچون پارامترای وابسته به شکل و اندازه صورت می‌پذیرد). شرایط و روش آزمون را IEC 383 مشخص نموده است. در شکل (۶)، نحوه قرار گرفتن مقره هنگام آزمایش نشان داده شده است.



شکل (۶) - ترتیب قرار گرفتن مقره در آزمون

شرایط محیطی آزمون اعم از دما، فشار و رطوبت مورد سنجش قرار می‌گیرد. چرا که شرایط

استاندارد آزمون چنین است:

دما:  $t_0 = 20^{\circ}C$