■ مهندس مهدی اسلامیان کوپائی
کارشناس ارشد مهندسی برق و مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد هرند

■ مهندس محمد رجبی سبدانی
عضو هیئت علمی گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد هرند

انتخاب الکتروموتورهای القایی AC جهت استفاده در کارخانجات سیمان

چکیده:

در کارخانجات سیمان، انتخاب صحیح موتورهای القایی جهت برنامه‌ریزی پروژه‌ها، تولید و بهره‌بری مؤثر، امری ضروری می‌باشد. این مقاله روی انتخاب موتورهای القایی AC جهت استفاده در فرآیند سایش یا آسیاب سیمان (در ارتباط با کاربردهایی در سیستم فن، کوره و آسیاب عمودی) تمرکز یافته است. معیارهایی که برای انتخاب موتور مطرح هستند، عبارتند از: شرایط بهره‌برداری یا عملکرد، ملزومات راه‌اندازی تجهیزات محرک (شامل استفاده از درایوهای سرعت متغیر)، مشخصه‌های الکتریکی، شرایط نصب، پارامترهای مربوط به نوع محفظه (شاخص حفاظتی ماشین یعنی IP) و بلبرینگ و همچنین ملزومات تجهیزات جانبی.

۱- مقدمه

اگرچه ممکن است چنین به‌نظر برسد که موتورها کم‌اهمیت‌ترین عنصر پیچیده در مشخصه‌های تجهیزات فرآیند آسیاب سیمان محسوب می‌شوند، ولیکن این مقاله اثبات می‌کند که در کاربردهای کنونی کارخانجات سیمان، موتورها یک عنصر بسیار حیاتی هستند که انتخاب نادرست آن‌ها می‌تواند منجر به فلج شدن فرآیند تولید گردد. مشخصه‌های بار و شرایط و ویژگی‌های محیطی خود کارخانجات سیمان به‌گونه‌ای است که می‌تواند هر مهندس طراح یا شرکت سازنده موتور را در انتخاب، طراحی و ساخت موتور با چالش مواجه کند.

جهت حصول یا فراهم کردن موتوری مناسب و صحیح برای کاربردی مشخص، باید پیش‌بینی‌ها، ارتباط و تبادل اطلاعات بین اپراتور فرآیند آسیاب، تأمین کننده تجهیزات محرک و سازنده موتور صورت پذیرد.

۲- شرایط بهره‌برداری یا عملکرد

جهت انتخاب موتور، در ابتدا مشخصات اصلی موتور که شامل توان (hp یا W) و سرعت (rpm) نوشته شده روی پلاک موتور می‌باشند، مورد توجه هستند؛ که اولی مربوط به میزان توان موتور برحسب اسب بخار یا وات و دومی مقدار دور نامی بر حسب دور بر دقیقه است. این دو مورد توسط تأمین کننده تجهیزات فرآیند تعیین گشته و مبتنی بر عملکرد تجهیزات در حالت ماندگار می‌باشند.

مورد بعدی تعیین و بررسی میزان ولتاژ شبکه قابل دسترس است. اپراتور کارخانه سیمان، شخص تأمین کننده تجهیزات فرآیند یا واحد مشاوره مهندسی، باید مؤثرترین منبع توان در سیستم ورودی را که بار مقادیر آمپر (میزان جریان)

WWW.MOHANDES.ORG

و hp یـا W (میزان توان) خود را از آن می‌گیرد، مورد بررسـی قرار دهند. نرخ فرکانس برحسـب هرتز و توسـط شـبکه برق قابل دسـترس تعیین می‌شود. مقدار آن بسته به استانداردهای شـبکه برق در کشـورهای مختلف دارد. بایسـتی توجه داشت که بازار سـیمان جهانی بوده و شرکت‌های سـازنده تجهیزات و دسـتگاه‌های مربوط به کارخانجات سیمان، تجهیزات خود را بـا مقادیر مختلفی از ولتاژ و فرکانس سـاخته و صادر می‌کنند. بنابرایـن مصرف کننده باید بـه میزان نرخ آنها توجه داشـته باشـد. به هیچ وجه نرخ فرکانس را نمی‌توان فرضی پنداشت و میزان آن برای سـازندگان موتور جهت طراحی‌های موتور مهم می‌باشـد؛ به‌عنوان مثال موتوری که باید به کشوری مثل شیلی (که فرکانس شـبکه ۵۰ Hz دارد) صادر شـود با موتوری که به کشـور آرژانتین (که دارای فرکانس شبکه ۶۰ Hz است) صادر می‌گردد، متفاوت است.

دمـای محیط نیـز پارامتر مهم دیگری اسـت که اغلب در انتخاب موتور و معیارهای طراحی از آن غفلت می‌شـود. دمای محیـط زیر ۳۰ °C نیازهای مـادی و روغن بلبرینگ خاصی را می‌طلبـد. به‌طور عکـس، دمای محیط بـالای ۴۰ °C ممکن اسـت نرخ افزایـش دمای قابل قبول موتـور را کاهش و به‌طور چشمگیری بر خروجی موتور تأثیرگذار باشد.

ارتفاع از سطح دریا از شاخص‌های دیگری است که می‌تواند در زمانی که ارتفاع نصب بالاتر از ۱۰۰۰ متر است، روی انتخاب موتور تأثیرگذار باشد. چگالی کمتر هوا در ارتفاعات بالا، موجب کاهش واسطه‌های خنک‌کنندگی موتور می‌شود. ضریب کاهش مجاز مربوط به افزایش دمای مشـخص به ازای هر ۱۰۰ متر در ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰ متر، برابر ۱ درصد است[1].

۳- ملزومات و شرایط گشتاور تجهیزات محرک

در هـر کاربردی برای انتخاب صحیح موتورهای القایی AC بایسـتی ملزومات و شـرایط مربوط به سـرعت به‌ازای گشتاور تجهیزات محـرک مورد توجه قرار گیرد. به‌طـور نمونه ممکن است خیلی از ما به‌راحتی دچار این اشتباه شویم که یک موتور ۴۰۰ اسـب بخار ۱۲۰۰ rpm که به‌خوبی در کاربرد فن اینرسی پایین عمـل می‌کند، می‌تواند برای کوره کارخانه سـیمان نیز مورد اسـتفاده قرار گیرد. این در حالی است که ما به این نکته توجه نکرده‌ایم که ملزومات و شرایط گشتاور بار یک فن در طی راه‌اندازی اولیه معمولاً کمتر از ۳۰ درصد گشتاور بار کامل است و یک کوره پر (در حداکثر توان خود) دارای شرایط گشتاور بار بیش از ۱۰۰ درصد گشتاور بار کامل است.

بایستی توجه داشت که همیشـه باید به تفاوت بین حالت راه‌اندازی تجهیزات محرک (یعنی توان و دور موتور) و وضعیت بـار راه‌اندازی (یعنی مشـخصه‌های راه‌اندازی موتـور) توجه و مفاهیم آن‌ها درک شـود. انجمن ملی تولید کنندگان تجهیزات الکتریکی (NEMA)[2] مشـخصه‌های گشتاور موتور را به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌کند:

الف) گشـتاور روتور قفل شـده[3] (LRT) – حداقل گشتاوی می‌باشد که موتور در حالت سکون ایجاد می‌نماید. به عبارتی دیگر موتور در لحظه اولیه راه‌اندازی همانند یک ترانسفورماتور اتصال کوتاه شـده که به ولتاژ نامی تغذیه متصل اسـت، عمل می‌کند. در این حالت جریان بسـیار زیادی از شـبکه کشیده می‌شود که به جریان روتور قفل شـده[4] معروف می‌باشـد. گشتاوری که این جریان به‌وجود می‌آورد را گشـتاور روتور قفل شده می‌نامند. این گشـتاور برحسب درصدی از گشتاور بار کامل نامی موتور که در لحظه چرخش اولیه شافت روتور به‌وجود می‌آید، بیان می‌گردد.

ب) گشتاور بالا کشنده[5] (PUT) – پایین‌ترین درصد گشتاور بار کامل نامی که موتور در حین راه‌اندازی تولید می‌کند.

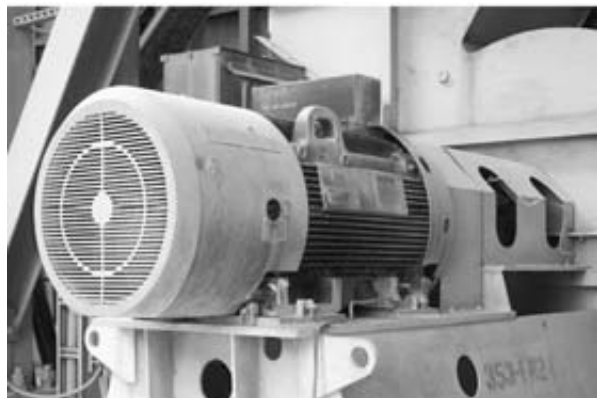
ج) گشـتاور شکست[6] (BDT) – بالاترین درصد از گشتاور بار کامل نامی که موتور قبل از رسیدن به سرعت بار کامل تولید می‌کند.

موتورهایی که گشـتاور راه‌اندازی کافـی را برای تجهیزات محرک ندارند، در حیـن راه‌اندازی زیر بار خواهند ماند و دچار سـکون می‌شـوند. اپراتور بهره‌بردار بایسـتی دقت داشته باشد کـه در این حالت لازم اسـت که قبل از مبـادرت به راه‌اندازی مجـدد تجهیزات، حتماً بار راه‌اندازی را کاهش دهد. در رابطه با دستگاه‌های سنگ‌شکن یا آسیاب مورد استفاده در کارخانه‌های سـیمان، ایـن قضیه به معنـای انتقال و برداشـتن سـنگ‌ها ماشـین یا تخلیه آن اسـت. ادامه‌دار شدن وضعیت سکون یا به بیانـی دیگر رخداد بیش از حد وضعیت سـکون موجب خرابی

1- NEMA MG 1-2006 Part 20, Page 5, Paragraph 20.8.4.

2- National Electrical Manufacturers Association
3- Locked- Rotor Torque
4- Locked- Rotor ampere (LRA)
5- Pull-up Torque
6- Breakdown Torque

WWW.MOHANDES.ORG



شکل ۱- محفظه کاملاً محصور خنک شده توسط پره

شکل ۲- محفظه کاملاً محصور خنک شده هوا به هوا

زودهنگام موتور می‌شود؛ چراکه در این حالت جریان بسیار زیادی از استاتور و روتور عبور می‌نماید.

٤- مشخصات و ویژگی‌های طراحی

٤-١- محفظه یا نوع پوشش حفاظتی موتور

مقصود از محفظه یا نوع پوشش حفاظتی موتور، درجه حفاظت سیم‌پیچ‌های موتور است. به‌طور معمول انتخاب محفظه موتور بر عهده مهندسین طراح، اپراتورها و فراهم کنندگان تجهیزات فرآیند کارخانه سیمان می‌باشد و ربطی به سازنده موتور ندارد؛ ولیکن سازنده می‌تواند اقدام به تولید محفظه‌ای نماید که ملزومات استفاده مشتری را برآورده سازد و همچنین با ارائه اطلاعات صحیح به مشتری در انتخاب نوع محفظه به او یاری رساند.

در ذیل انواع پوشش‌های حفاظتی موتورهای الکتریکی مورد استفاده در صنعت سیمان بررسی می‌شود:

الف- محفظه کاملاً محصور خنک شده توسط فن[1] (TEFC): از متداول‌ترین پوشش‌های موتور در صنعت سیمان محسوب می‌گردد. بنا به تعریف NEMA: محفظه TEFC از تبادل آزادانه هوا بین داخل و خارج قاب جلوگیری می‌کند، اما به‌طور کامل محفظه را مهر و موم نمی‌کند[2]. در این نوع محفظه‌ها یک دستگاه فن به محور متصل شده و یک فشار هوای رو به جلو را در حین کار در قاب ایجاد می‌نماید تا روند خنک‌سازی تسریع یابد.

دو نوع اصلی از موتورهای TEFC عبارتند از: نوع محفظه کاملاً محصور خنک شده توسط پره[3] (شکل ۱) و نوع محفظه کاملاً محصور خنک شده هوا به هوا[4] (شکل ۲).

در نوع خنک شده توسط پره، تبادلات هوا توسط پره‌های خنک کننده‌ای صورت می‌پذیرد که ساختار اصلی محفظه را پوشش داده‌اند. به‌طور معمول این نوع قاب، از چدن ساخته می‌شود؛ هرچند که در برخی موارد ترجیحاً از پره فولادی و آلومینیمومی جوش داده شده به بدنه نیز استفاده می‌گردد. محفظه کاملاً محصور خنک شده هوا به هوا معروف به TEAAC بوده و با یک دستگاه تبادل‌گر گرمایی هوا به هوا که روی استاتور موتور نصب می‌گردد، تجهیز شده است. در محفظه نوع TEAAC، هوای گرم از استاتور به‌صورت اجباری به اطراف لوله‌هایی که به مجرایی از هوای سرد متصلند، حرکت می‌کند و این چنین گردش منظم هوا، موتور را خنک نگه می‌دارد. جنس لوله‌ها بسته به نوع محیط متفاوت بوده و می‌تواند از آلومینیوم، مس و فولاد ضدزنگ باشد.

ب- محفظه‌های باز: ماشین‌های دارای این نوع محفظه دارای قیمت پایین‌تری هستند و بر طبق تعریف NEMA توسط این نوع محفظه درجه حفاظت سیم‌پیچ‌های موتور کاهش می‌یابد. در نوع محفظه باز برای خنک‌کنندگی موتور، هوای خارجی در داخل موتور به حرکت درمی‌آید. به عبارتی دیگر NEMA این‌گونه تعریف می‌کند که: یک ماشین باز دارای روزنه‌های تهویه می‌باشد که به هوای خنک کننده خارجی اجازه می‌دهد اطراف سیم‌پیچ ماشین حرکت کند[5].

از ماشین‌های نوع محفظه باز اصلی که در کارخانجات سیمان قابل مشاهده است «حفاظت شده در برابر شرایط جوی نوع دوم[6]» بوده (شکل ۳) که معروف به WPII است. محفظه نوع WPII برای محدود کردن مقدار آلایندگی‌های هوای ورودی دارای حداقل سه تغییر جهت دهنده هوای ورودی و خروجی ۹۰ درجه می‌باشد. علاوه بر این، موتور نوع WPII می‌تواند فیلترهایی روی مدخل هوا (رایج‌ترین آنها از جنس فولاد گالوانیزه شده و فولاد ضدزنگ است) داشته باشد.

1- Totally Enclosed Fan Cooled
2- NEMA MG 1-2006 Section 1 Part 1, Page 15, Paragraph 1.26.
3- Totally Enclosed Fin Cooled
4- Totally Enclosed Air to Air Cooled

5- NEMA MG 1-2006 Section 1 Part 1, Page 12, Paragraph 1.25
6- Weather Protected Type II

WWW.MOHANDES.ORG

شکل ۳- محفظه نوع WPII

از مزایای محفظه نوع باز می‌توان به بزرگ‌تر بودن نسبت hp به وزن استاتور و قیمت کمتر اشاره داشت. بایستی اذعان داشت که با عبور آزادانه و مستقیم هوای محیط از روتور و استاتور موتور، این محفظه‌ها نسبت به نوع TEFC یا TEAAC موجب خنک‌کنندگی بهتر و دریافت توان خروجی بیشتری از موتور می‌شوند.

عیب یا محدودیت اصلی محفظه‌های نوع باز این است که گردوغباری که در هوای محیط کارخانه سیمان وجود دارد می‌تواند وارد موتور شده و موجب افزایش حرارت قسمت‌های مختلف گردد. علاوه بر این، اگر فیلترها درست نصب نشده باشند، آلودگی‌های هوای محیط می‌تواند وارد عایق‌های سیم‌پیچ‌های استاتور شده و آن را پس از مدتی پر از شن کرده و بر روی ضریب عایقی تأثیر گذارد.

ج- ماشین کاملاً محصور خنک شده با آب- هوا[1] (TEWAC): بر اساس تعریف NEMA ماشین کاملاً محصور خنک شده با آب- هوا توسط هوای در چرخش خنک شده و سپس هوای گرم پس از آن که در خنک‌کن‌های آب سرد شد، مجدداً وارد سیکل می‌شود. در این نوع محفظه، از تبادل کننده حرارتی خنک کننده آبی برای خنک‌سازی هوای داخلی موتور استفاده می‌شود. علاوه بر این، از فن یا فن‌هایی که به شافت روتور متصل هستند یا جدای از آن می‌باشند، برای چرخش هوای داخلی بهره گرفته می‌شود[2]. به بیانی ساده‌تر سیستم خنک‌کنندگی این نوع محفظه‌ها بسیار شبیه به رادیاتور خودرو می‌باشد.

مزیت محفظه TEWAC نسبت به نوع باز، بزرگ‌تر بودن نسبت hp به وزن استاتور و حفاظت استاتور با پوششی کاملاً محصور می‌باشد. این نوع محفظه نسبت به همه محفظه‌های دیگر، امکان دریافت بیشترین نرخ توان (نرخ‌های غیرقابل حصول یا پرهزینه در موتورهای TEFC) را فراهم می‌کند.

عیب آشکار محفظه TEWAC آن است که نیاز به آب دارد. در واقع این آب باید همواره پمپ و خنک شده و همچنین بسیار تمیز باشد.

٤-۲- مشخصه‌های الکتریکی

ملاک‌های طراحی الکتریکی یک موتور غالباً توسط فروشنده در زمان عرضه ارائه می‌شود، مگر این که مشخصات خاصی از جانب مشتری یا مهندس مشاور به فروشنده اعلام گردد. مشخصه های الکتریکی اصلی به شرح ذیل هستند:

الف- ضریب سرویس[3]: ضریب سرویس (SF) موتور عبارتست از میزان اضافه باری که موتور قادر است در بالاتر از نرخ توان درج شده روی پلاک خود تحمل کند. به بیانی دیگر میزان اضافه باری است که موتور زمانی که با تلرانس ولتاژ مناسب به‌طور معمول عمل می‌کند، می‌تواند برای دوره‌های کوتاه‌مدت تحمل کند. از میان ضرایب سرویس مختلف، ضریب سرویس ۱/۰ و ۱/۱۵ بسیار رایج هستند. ضریب سرویس ۱/۰ به این معناست که موتور در بالاتر از hp درج شده روی پلاک خود، قادر به کار نیست و ضرایب سرویس بالاتر از ۱/۰ نشان‌دهنده آن هستند که موتور برای عملکرد پیوسته و البته کوتاه‌مدت، قادر به hp درج شده روی پلاک خود ضربدر SF هستند. برای مثال اگر ضریب سرویس موتوری که توان درج شده روی پلاک آن hp ۱۰ است برابر ۱/۱۵ باشد، یعنی این موتور می‌تواند hp ۱۱/۵ قدرت را درهنگام استفاده کوتاه‌مدت فراهم آورد.

ب- افزایش دما: افزایش دمای یک موتور عبارتست از: افزایش سطح حداکثر مشخصی از دمای استاتور که بالاتر از دمای محیطی معین است یا به بیانی دیگر مقدار دمای افزایش یافته بالاتر از دمای محیط که قابل قبول برای سیم‌پیچ‌های موتور در بار کامل و کار مداوم باشد را گویند. پارامتر افزایش دما شامل موارد و مؤلفه‌های مختلفی می‌باشد. جدول ۱ در مشخص کردن این پارامتر بر اساس ولتاژ و کلاس عایقی به‌کار می‌رود. NEMA این جدول را بر اساس ضریب سرویس ۱، دمای محیطی ماکزیمم ۴۰ °C و ارتفاع از سطح دریای ۱۰۰۰ متر یا کمتر بیان نموده است[4].

افزایش هشتاد درجه سلسیوس (۸۰ °C) توسط مقاومت در SF ۱/۰ و در دمای محیطی ۴۰ °C به‌عنوان مبنا در موتور صنعتی استاندارد استفاده می شود. به‌عبارتی دیگر افزایش دمای کلاس B، یک مقدار مبنا در کاربرد موتور صنعتی است. با این حال، خریدار یا مشتری می‌تواند موارد دیگری را برحسب

1- Totally Enclosed Water-Air-Cooled
2- NEMA MG 1-2006, Part 1, Page 16, Paragraph 1.26.7.
3- Service Factor
4- NEMA MG 1-2006, Part 20, Page 4

WWW.MOHANDES.ORG

جدول ۱- نرخ تعیین پارامتر افزایش دما بر حسب درجه سلسیوس بر اساس توان، ولتاژ و کلاس عایقی.

HP	ولتاژ	روش تعیین	افزایش دما بر حسب درجه سلسیوس (°C) و نوع کلاس عایقی			
			کلاس عایقی A	کلاس عایقی B	کلاس عایقی F	کلاس عایقی H
HP	همه ولتاژها	مقاومت	۶۰	۸۰	۱۰۵	۱۲۵
HP ≤ 1500	همه ولتاژها	آشکارساز	۷۰	۹۰	۱۱۵	۱۴۰
HP > 1500	V ≤ 7000	آشکارساز	۶۵	۸۵	۱۱۰	۱۳۵
HP > 1500	V > 7000	آشکارساز	۶۰	۸۰	۱۰۵	۱۲۵

جدول ۲- روش‌های راه‌اندازی مختلف و گشتاورهای خروجی منتجه از هر کدام

روش راه‌اندازی	ولتاژ اعمالی	درصد ولتاژ کامل جریان راه‌اندازی (در سمت خط)	درصد ولتاژ کامل گشتاور راه‌اندازی
اتصال مستقیم به شبکه (ACL)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	۹۰	۹۰	۸۱
اتوترانسفورماتور	۸۰	۶۶	۶۴
	۶۵	۴۵	۴۲
	۵۰	۲۷	۲۵
راکتور سری	۸۰	۸۰	۶۴
	۶۵	۶۵	۴۲
	۵۰	۵۰	۲۵
راه‌انداز نرم حالت جامد[1]	قابل تنظیم	(ولتاژ اسمی/ ولتاژ اعمالی)	(ولتاژ اسمی/ ولتاژ اعمالی)
درایو فرکانس متغیر	قابل تنظیم	قابل تنظیم	قابل تنظیم
راه‌اندازی ستاره- کار دائم مثلث	۱۰۰	۳۳/۳	۳۳/۳

۱- اشاره به راه‌انداز نرم مبتنی بر نیمه‌هادی‌ها

نوع کار و تجربه اختیار کند.

ج- کلاس عایقی: کلاس عایقی نوع F برای عایق‌بندی موتور القایی AC به‌عنوان یک مبنا و استاندارد صنعتی در نرخ حداکثر دمای قابل تحمل موتور مطرح است.

د- روش راه‌اندازی: روش راه‌اندازی موضوع بسیار مهمی است. مکرر مشاهده شده است تا زمانی که موتور نخواهد در محل کار راه‌اندازی شود و یا تغییراتی در سیستم کارخانه صورت پذیرد، غالباً در هنگام خرید توسط خریدار نادیده گرفته می‌شود. جهت درک بهتر برای مثال زمانی را در نظر بگیرید که مشتری موتوری را خریداری نموده است که بر فرض به‌طور مستقیم به شبکه برق متصل می‌شود (معروف به روش ACL[1] یا DOL[2]) و حال او تصمیم دارد جهت کاهش ولتاژ راه‌اندازی از یک اتوترانسفورماتور یا برخی دیگر از راه‌اندازهای کاهنده ولتاژ استفاده کند. در این حالت مشخصه پتانسیل برای مسائل راه‌اندازی مطرح می‌شود و ممکن است موتور خریداری شده نتواند ولتاژ کمتری را بپذیرد. از طرفی عملکرد گشتاور موتور بر اساس ۱۰۰ درصد ولتاژ درج شده روی پلاک موتور می‌باشد و بایستی توجه داشت که گشتاور خروجی موتور به‌ازای مربع ولتاژ تغییر می‌کند. از این رو با یک اتوترانسفورماتور راه‌انداز که مقدار تَپ ۶۵ درصد دارد، ۶۵ درصد ولتاژ (با فرض این که هیچ افت ولتاژ خطی نداشته باشیم)، تنها منجر به ۴۲/۲۵ درصد (۰/۶۵×۰/۶۵) گشتاورهای راه‌انداز درج شده روی پلاک موتور می‌شود.

ایراد دیگر که در اثر نادیده گرفتن این قضیه ظاهر می‌شود، هنگام استفاده از یک درایو سرعت متغیر[3] (ASD) است. مهندسین برق یک کارخانه سیمان بایستی هنگام خرید موتور به این نکته توجه داشته باشند که درست است در حال حاضر موتور شما مستقیماً به شبکه برق اصلی متصل است، اما ممکن است در آینده جهت راه‌اندازی نرم، کنترل

1- Across the Line
2- Direct-On-Line
3- Adjustable Speed Drive

WWW.MOHANDES.ORG

دور و کاهش مصرف انرژی، مسئله استفاده از ASD ها مطرح شود. بایستی توجه داشت بهره‌گیری از ASD مستلزم داشتن اطلاعـات خاصی از انواع ASD های خاص، مشـخصه‌های بار و شـرایط محدوده سـرعت دارد و بایسـتی هم سازنده و هم خریدار ماشـین به این امر مسـلط باشـند. جدول ۲ جزئیات روش‌های راه‌اندازی مختلف را به همراه گشـتاورهای خروجی منتجه نشان می‌دهد. منحنی‌های سرعت- گشتاور نشان داده شـده در شـکل ۴ اثبات می‌کنند که موتور می‌تواند در ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصـد ولتاژ با موفقیت راه‌اندازی شـود، اما اگر ۶۵ درصد ولتاژ اعمال شـود، تقریباً در ۷۰ درصد سـرعت متوقف می‌شود.

ه- جریان‌هـای هجومـی: جریان‌هـای هجومـی همـان جریان‌هایی هسـتند کـه در لحظه راه‌اندازی موتور از شـبکه کشیده می‌شوند. جریان‌های روتور قفل شده (LRA) نام رایجی اسـت که عموماً بر آن‌ها گذاشته می‌شود. به‌طور معمول مقادیر LRA درصدی از میزان جریان بار کامل است.

موتورهایی که برای گشـتاورهای راه‌انـدازی بالا طراحی می‌شـوند دارای مشـخصه ذاتی مقدار LRA بالاتری نسـبت به موتورهای با گشـتاور راه‌اندازی اسـتاندارد هستند؛ این امر به‌دلیل چگالی شـار بالاتر و (یا) مقاومت بیشـتری اسـت که در قفسـه روتور موتورهای با گشـتاور راه‌انداز بالا نیاز اسـت. محدودیت سـطح LRA می‌تواند موجب بزرگ‌تر شدن اندازه موتور شود.

با توجه به اطلاعات بار، شـرکت سـازنده و فروشنده موتور می‌تواند اقدام به ارزیابی و طراحی موتور جهت راه‌اندازی توسط تکنیک کاهش ولتـاژ و کاهش جریان‌هـای هجومی کند. این عملی است که باید به‌طور مؤثر در مرحله انتخاب و خرید موتور انجام پذیرد؛ سازنده نیز موظف به ارائه اطلاعات کامل است.

٤-۳- مشخصه‌های مکانیکی

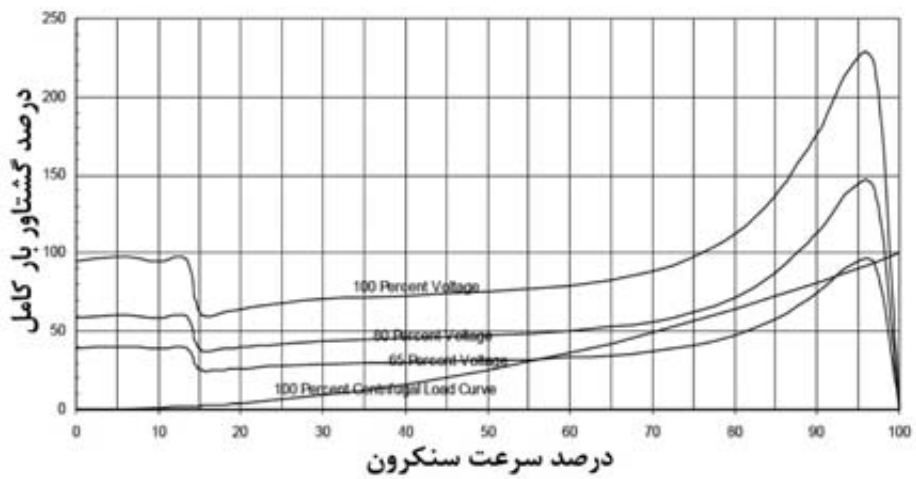
معیارهای طراحی مکانیکی شـامل برخی از مواردی اسـت که باید توسـط سـازنده تجهیزات محرک مشخص شود. البته برخـی از آن‌ها را می‌توان فرضی درنظـر گرفت، ولیکن بعضی از آن‌ها را حتماً سـازنده موتور باید ارائه دهد. در ذیل برخی از مشـخصه های مکانیکی مهم کـه در کارخانجات صنعتی نقش حیاتی دارند، تشریح شده‌اند:

الـف- اتصال به بـار: به‌طور معمول، راسـتا و جهت اتصال شـافت موتور به تجهیزات محرک یا گیربکـس به‌طور فرضی، تجربی و بسته به نوع طراحی دارد؛ مگر آن که استفاده از تسمه جهت اتصال مستقیم مطرح باشد.

ب- راسـتا و جهـت نصـب: معمـولاً سـازندگان، نصب موتور روی سـطح زمین را به‌صورت افقی در نظر می‌گیرند؛ مگـر این که لزوماً نیاز به نصب در شـکل دیگری باشـد. با ایـن همه، در مـورد موتورهای محرک کوره بایسـتی گفت که به‌طور معمول روی یک سـطح شـیب‌دار ۳ درجه نصب می‌شـوند، چراکه ایـن نوع نصب می‌توانـد در فرآیند تولید کمک کننده باشد.

شـرایط و محدودیت‌هـای ارتفاع را می‌تـوان از چالش‌های ویژه در طراحی موتور مربوط به کاربردهای آسـیاب عمودی در کارخانجات سیمان نام برد. در این کاربردها رایج است که موتور پایین‌تر از یک صفحه یا سطح سازه نصب شود؛ به‌طوری که یک موتور با ارتفاع استاندارد ممکن است نتواند به‌درستی به بار اتصال یابد. شکل ۵ نشان می‌دهد که در این حالت چگونه موتور به‌طور مناسب محکم می‌شـود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این حالت از یک پایه مخصوص در زیر موتور استفاده می‌شود.

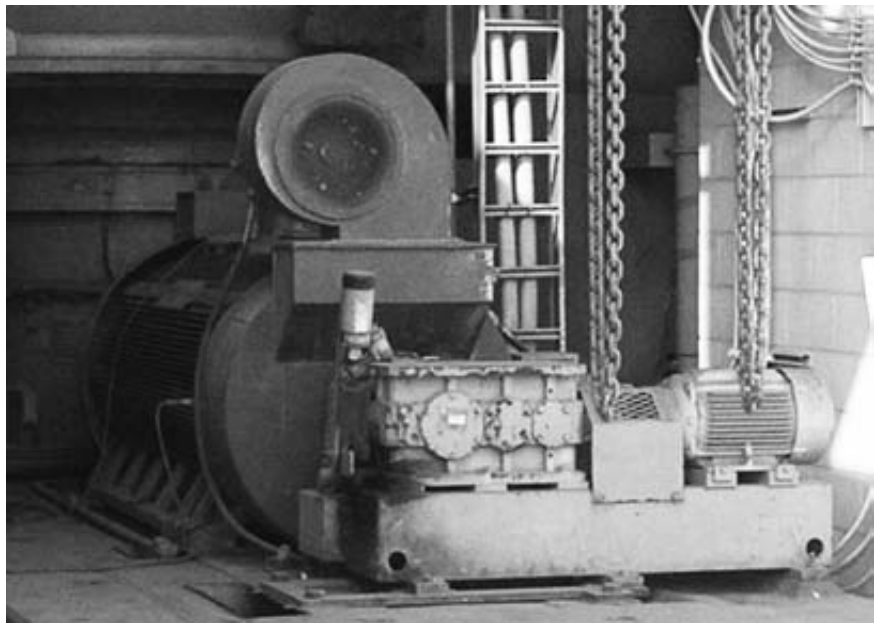
ج- شافت‌های کمکی: برخی تجهیزات از جمله آسیاب‌های



شکل ۴- منحنی‌های سرعت نسبت به گشتاور

WWW.MOHANDES.ORG

شکل ۵- اتصال مناسب موتور به بار در کاربرد فرآیند آسیاب سیمان



شکل ۶- اینچینگ درایو روی NDE مربوط به موتور محرک آسیاب

عمودی ممکن است نیاز به یک «اینچینگ درایو[1]» روی موتور داشـــته باشند. این امر لازمه آن است که به یک شافت تحریک دوم دیگری (معروف به شـــافت یا محـــور الحاقی) روی انتهای غیرمحرک[2] (NDE) موتور تجهیز شـــده باشـــند. اشکال ۶ و ۷ چنین آرایش‌هایی را در آسیاب‌های عمودی نشان می‌دهند.

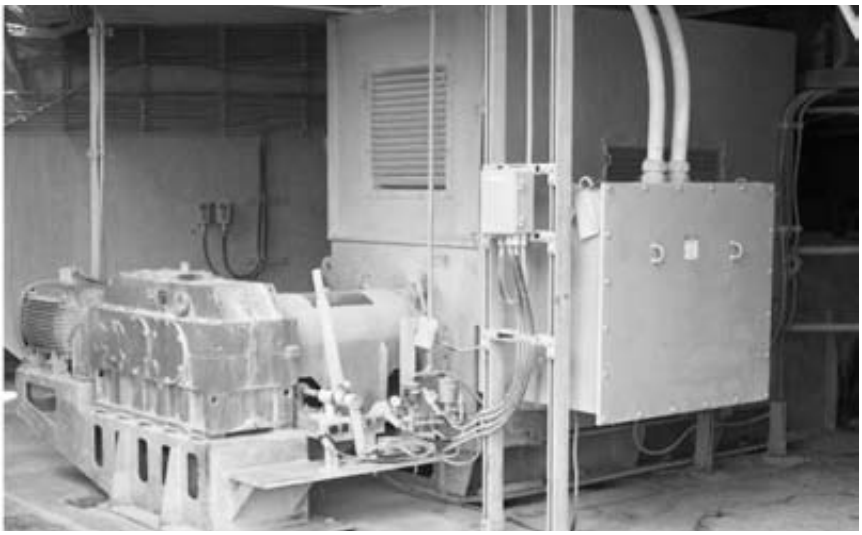
د- نـــوع بلبرینگ: اگرچـــه هر دو نوع بلبرینگ لغزشـــی و ضداصطکاک قابل استفاده روی اکثر موتورهای بزرگ‌تر از ۴۴۰ فریمی هســـتند ولیکن بایستی با توجه به بار و سرعت بلبرینگ آن‌ها را به طور مطلوب انتخاب کرد.

مزیـــت بلبرینگ‌هـــای لغزشـــی آن اســـت کـــه از لحـــاظ تئـــوری دارای عمـــر بینهایت هســـتند؛ با این حـــال، آن‌ها نیز محدودیت‌های خاص خودشـــان را دارند. در واقع بلبرینگ‌های

۱- **Inching Drive**: اینچینگ درایوها واحدهایی هستند که عملکرد سرعت پایین سیستم‌هایی مانند نوار نقاله، آسانسورها، آسیاب‌های کارخانه سیمان و ... را فراهم می‌آورند. یک اینچینگ درایو دارای یک گیربکس کاهنده سرعت جهت حصول سرعت‌های پایین می‌باشد و می‌تواند بین موتور محرک و سیستم محرک اصلی نصب شود. البته می‌توان آن را جدا از موتور اصلی به سیستم محرک متصل نمود. از کاربردهای دیگر این وسیله در صنعت سیمان آن است که در زمانی که موتور اصلی دچار نقص شده و از کار بیافتد، عمل چرخش کوره و خشک‌کن را حفظ می‌کند.

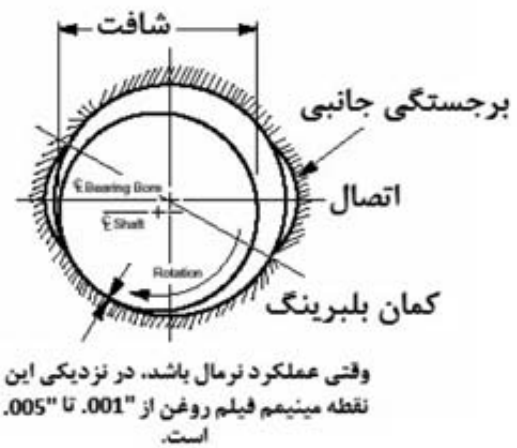
2- Non Drive End

WWW.MOHANDES.ORG



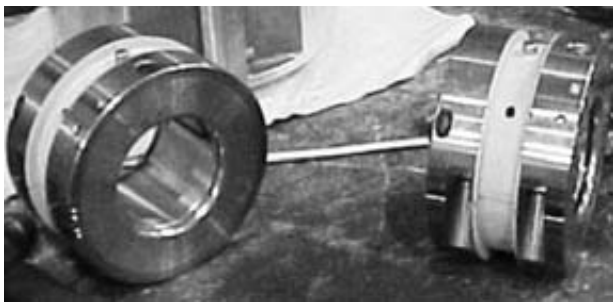
شکل ۷- یک اینچینگ درایو در آسیاب عمودی کارخانه سیمان

لغزشی را نمی‌توان در کاربردهای نوار نقاله یا تجهیزات تسمه‌دار استفاده کرد. همچنین بلبرینگ های لغزشی در دمای محیطی بالاتـر از ۴۰ °C و روی قاب‌هـای بـا اندازه‌های بـزرگ نیاز به یک مخـزن روغن اضافی دارند. علاوه بـر این‌ها، بلبرینگ‌های لغزشـی مستلزم استفاده در سرعت‌های حداقل هستند که این امر می‌تواند تا اندازه‌ای در محل‌های دارای اینچینگ درایو یک مسـئله و چالش محسوب شود. شکل ۸ طرحی از یک بلبرینگ لغزشی مبنا و شکل ۹ نمونه‌ای از آن را نشان می‌دهد.



شکل ۸- طرحی از یک بلرینگ لغزشی مبنا

بلبرینگ‌هـای ضداصطـکاک انعطاف‌پذیری بسـیار زیادی را بـرای کاربردهای مختلف فراهم می‌کننـد، ولیکن عمر آن‌ها محدود اسـت. طول عمر بلبرینگ ضداصطکاک برحسب L10[1] مشـخص می‌شـود. L10 عمری اسـت که در آن انتظار می‌رود کـه ده درصد از بلبرینگ‌هـای مورد اسـتفاده در آن کاربرد در



شکل ۹- نمونه‌ای از بلبرینگ‌های لغزشی

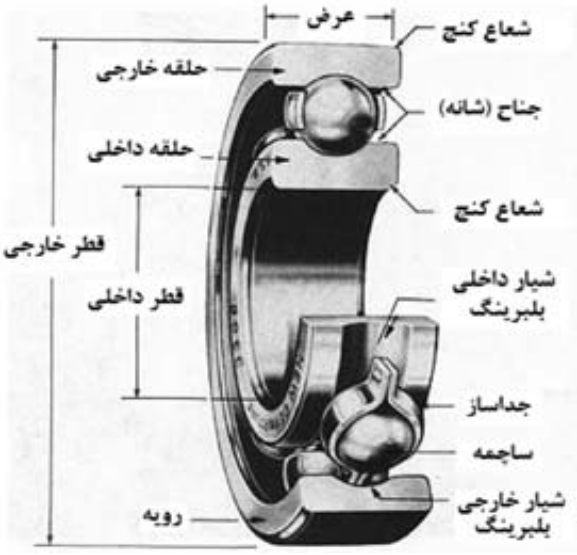
اثر خسـتگی معمول دچار خرابی شـوند یا این‌که نود درصد از بلبرینگ‌هـا همچنـان در حال کار باشـند. این خرابی شـامل حالت‌های دیگر شکسـت مانند فقر روان‌کاری، اشـتباه نصب و غیره نمی‌شود. عمر L10 بلبرینگ، عمر تئوری آن است و ممکن است نشان‌دهنده عمر کاری آن نشود. به‌طور معمول حداقل عمر L10 برای کاربردهای اتصال مسـتقیم ۱۰۰۰۰۰ ساعت در نظر گرفته می‌شود. بر اساس استاندارد در کاربردهای اتصال مستقیم، از بلبرینگ‌های سـاچمه‌ای شیار عمیق در هر دو سمت انتهایی موتور استفاده می‌شود. همچنین می‌توان روی موتورهای بزرگ‌تر، از بلبرینگ‌های غلتشی بهره گرفت. در کاربرد تجهیزات تسمه‌دار، جهت حصول سـطوح بالاتری از قابلیت بارگذاری جانبی و عمر طولانی‌تر بلبرینگ، تأکید بر استفاده از بلبرینگ نوع غلتشی روی انتهای محرک موتور می‌باشـد. در کاربرد تجهیزات تسـمه‌دار، عموماً عمر L10 حداقل ۱۷۵۰۰ ساعت است. شکل ۱۰ و ۱۱ به ترتیب طرحی از یک نوع بلبرینگ سـاچمه‌ای و غلتشی و شکل ۱۲ نمونه‌ای واقعی از هر دو را نشان می دهد.

۵- تجهیزات یدکی

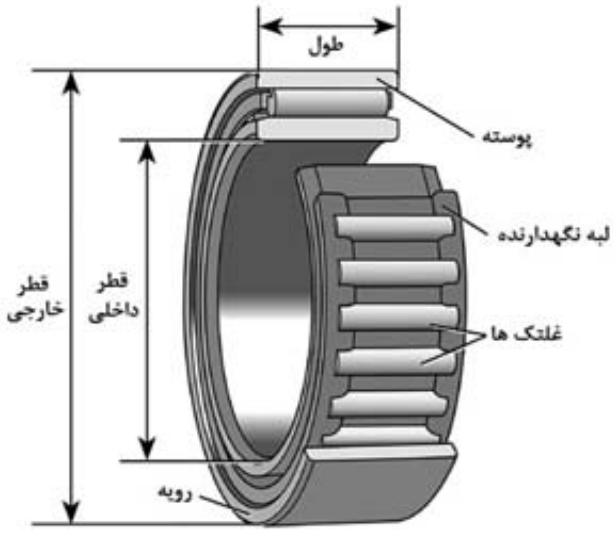
اصولاً مشـخصات تجهیزات یدکی موتور توسط خریدار آن

۱- L10= عمر اسمی (در قابلیت اطمینان ۹۰ درصد)

WWW.MOHANDES.ORG



شکل ۱۰- طرحی از یک بلبرینگ ساچمه‌ای



شکل ۱۱- طرحی از یک بلبرینگ غلتشی

شکل ۱۲- نمونه‌ای حقیقی از هر دو نوع بلبرینگ ساچمه‌ای و غلتشی

انتخـاب می‌گردد. انتخاب این موارد مسـاوی با افزایش هزینه بوده و معمولاً توسـط فروشـنده اضافه نمی‌شـود، مگر این‌که شـرایط کار به‌گونه‌ای باشـد که فروشـنده را مجبور به اضافه کردن آنها کند. تجهیزات یدکی موتور در ادامه تشریح شده‌اند:

الف- حفاظت سـیم‌پیچ استاتور: از جمله لوازم یدکی مربوط به حفاظت سیم‌پیچ‌های استاتور عبارتند از: هیترهای (گرمکن) فضایی، حفاظت مقاومت سایشـی[1]، حفاظـت ضدزنگ[2]، حفاظـت در برابر تغییرات ناگهانی ولتاژ و جریان (برقگیرهای صاعقه و خازن‌های نوسان شدید)، ترانس اندازه‌گیری جریان (CT) و CT های دیفرانسیلی.

ب- حفاظت دمای اسـتاتور: مسـلماً اضافه حـرارت موجب کاهش عمر موتور می‌شـود. لوازم یدکی جهت کنترل و مشاهده دمای اسـتاتور شامل آشکارسـازهای دمای مقاومتی (RTD ها)، ترموکوپل‌ها (TC ها) و ترموسـتات‌ها هسـتند. با این که آن‌ها را جزء ابزار یدکی می‌دانند، ولیکن در بسیاری از موارد برای طراحی نهایی موتور بهره‌گیری از نوع خاصی از RTD یا TC ضروری است.

ج- حفاظـت بلبرینـگ: از جمله حفاظت‌هـای مربوط به بلبرینگ‌هـای موتور عبارتنـد از: انتخاب‌های مختلف از آب‌بند و درپوش‌های شـافت ویژه (یعنی IP55، taconite و ®Inpro)، وسـایل حفاظتی ارتعاشـی و ابزارهای کنترل و مشـاهده دما (RTD ها یا TC ها).

٦- نتیجه‌گیری

درنهایت لازم اسـت به ایـن نکته توجه داشـت که برای عملکـرد بهینـه موتـور و رضایـت مشـتری، بهره‌گیـری از موتورهای القایی AC در تجهیزات کارخانجات سیمان باید بر اسـاس تفاهم، تبادل و استفاده از اطلاعات و تجارب اپراتورها، فراهـم کننده تجهیـزات فرآیند یا مسـئول خدمـات، گروه تعمیرات و شرکت سازنده موتور باشد. بهره‌بری موثر و انتخاب صحیح موتور مستلزم آن است که اپراتورهای کارخانه سیمان و شـخص فراهم کننـده تجهیزات فرآیند، یـک درک پایه از موتورهای الکتریکی داشـته باشـند و از طرفـی تولیدکننده موتـور نیز باید در مورد کاربرد خـاص هر نوع موتور اطلاعات لازم را داشـته باشـد تا موتور به‌طور صحیـح طراحی گردد. تبادل اطلاعات بین این افراد به‌شـدت ضروری اسـت، چراکه در طراحی و بهره‌گیری از موتورهای القایی متغیرهای بسـیار زیادی دخیل هسـتند•

منبع:

- Barton J. Sauer, "Selection of AC Induction Motors for Cement Plant Applications", Cement Industry Technical Conference Record, 2008 IEEE

1- Abrasion Resistant
2- Anti-Fungus

WWW.MOHANDES.ORG