



پارامترهای انتخاب دینامومتر آزمون موتور و دسته‌بندی دینامومترها

hamzehnav@ut.ac.ir

قدرت‌الله حمزه نوا، مرتضی عباسی

استاد پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران،
مدیر عامل شرکت مبتکران پارس اندیش
مرتضی عباسی؛ استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری

خلاصه

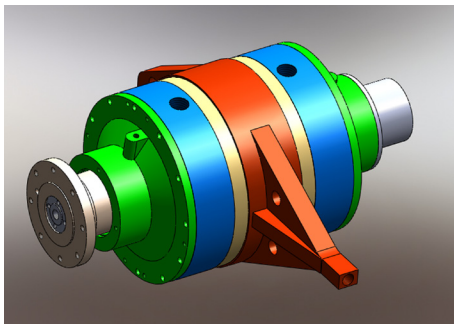
برای آزمون انواع موتورها در صنعت و موسسه‌های پژوهشی از دینامومتر استفاده می‌شود. برای امکان انجام آزمون، پرداخت هزینه کمتر در تست‌های طولانی مدت و دقت مناسب در انجام آزمون ضروری است تا سفارش‌دهنده تست آشنایی مختصری با دینامومتر داشته باشد. در صورت نیاز یک موسسه، پژوهشگر یا صنعتگر به آزمون دینامومتری، اطلاعات دسته‌بندی شده در مورد مزایا و معایب انواع دینامومتر، جهت انتخاب دینامومتر و مراکز مجهز به دینامومتر در ایران، کم بوده و به سختی در دسترس می‌باشد. این مقاله به صورت خلاصه به بررسی انواع دینامومتر پرداخته است. مزایا و معایب دینامومتر پر مصرف بررسی شده و محدوده متداول استفاده از انواع دینامومتر شرح داده شده است. همچنین در این مقاله سعی شده تا با ارائه اطلاعات انتخاب انواع دینامومتر و دسته‌بندی اطلاعات دینامومترهای موجود در ایران، خواننده بتواند دینامومتر مناسب برای آزمون مورد نظر خود را انتخاب نماید.

۱. مقدمه

برای تست عمر و عملکرد انواع موتورهای احتراق داخلی، موتورهای خودرو در صنعت و موتورهای الکتریکی، از دینامومتر استفاده می‌شود. همچنین برای کنترل موتور طراحی شده، اعتبار سنجی طراحی انجام شده و تاثیر پارامترهای مختلف در توان، از دینامومتر استفاده می‌شود. در این مقاله به صورت خلاصه انواع دینامومتر معرفی می‌شود. همچنین مزایا و معایب انواع دینامومتر بررسی شده و محدوده استفاده انواع دینامومترهای متداول شرح داده می‌شود.

• هیدرولیکی (ترمز آبی)

مزیت: سادگی سیستم، توان بالا، ایجاد گشتاور بالا، دور بالا، قابلیت تحمل بارگذاری دائم، نسبت توان به حجم و وزن عالی، نیاز به تعمیر و نگهداری کم و نصب نسبتاً آسان
معایب: گشتاور کم در دور کم و یا صفر، نداشتن حالت (مود) موتورینگ، دقت کمتر نسبت به نمونه‌های بعدی، نداشتن پاسخ زمانی کم برای وضعیت گذرا



عکس شماره ۱ - دینامومتر هیدرولیکی

۲. کاربرد دینامومترها

کاربرد دینامومترها را می‌توان به شکل زیر دسته بندی کرد:

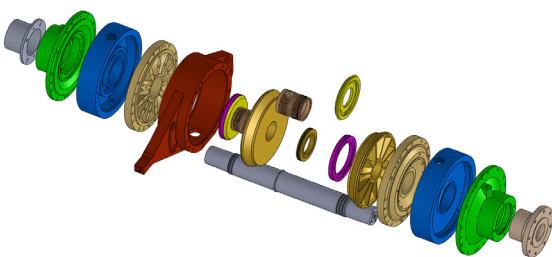
- تست عملکرد یک موتور ساخته شده در کارخانه تولیدی
- تست عمر قطعات یک موتور ساخته شده در کارخانه تولیدی
- تست عملکرد یک موتور بعد از تعمیر و کنترل عملکرد قطعات مصرف شده در تعمیر موتور
- تست عملکرد یک موتور تولید شده و انطباق آن با مشخصات پلاک موتور در بازرسی استاندارد و گمرک
- بارگذاری موتور برای تعیین آلاینده‌ی آن
- بارگذاری موتور برای تعیین مصرف سوخت
- بهینه سازی موتور

۳. مقایسه انواع دینامومترها

انواع دینامومترهای پر مصرف در صنایع خودروسازی، موتورسیکلت سازی، وسایل ترابری و موتورهای الکتریکی را می‌توان به شکل زیر دسته‌بندی کرد [۱]:

• اصطکاک

مزیت: سادگی سیستم، ایجاد گشتاور بالا در دور کم و دور صفر، نسبت توان به حجم خوب، نصب آسان و تعمیرات کم
معایب: ظرفیت پایین، کنترل‌پذیری سخت بدلیل تغییر ضریب اصطکاک



عکس شماره ۲ - نقشه انفجاری دینامومتر هیدرولیکی

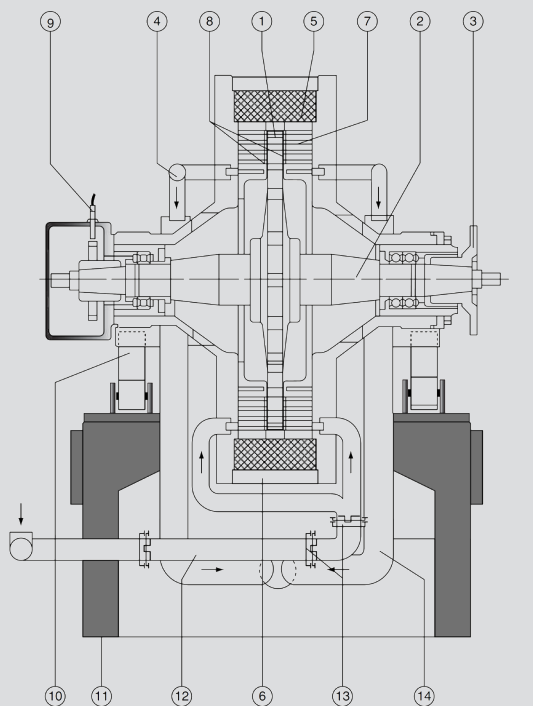
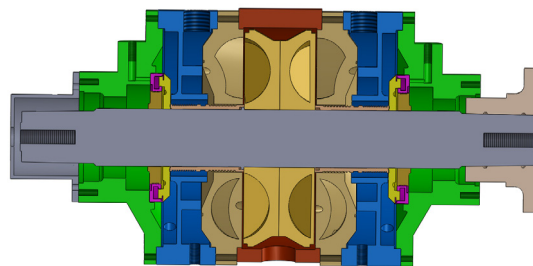
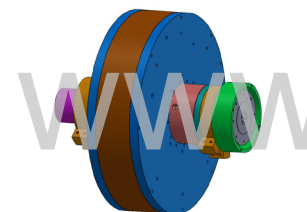


Figure 8.3 Schenck, dry gap, disc type eddy-current dynamometer 1, rotor; 2, rotor shaft; 3, coupling flange; 4, water outlet with thermostat; 5, excitation coil; 6, dynamometer housing; 7, cooling chamber; 8, air gap; 9, speed pick-up; 10, flexure support; 11, base; 12, water inlet; 13, joint; 14, water outlet pipe

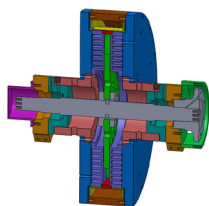


عکس شماره ۳ - نقشه‌ی برش خورده‌ی دینامومتر هیدرولیکی

شکل ۱: نمونه شکل برش خورده یک دینامومتر ادی کارنت [۱].



عکس شماره ۴ - دینامومتر ادی کارنت



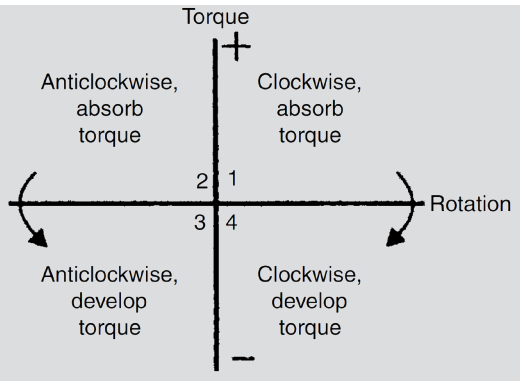
عکس شماره ۵ - نقشه‌ی برش خورده‌ی دینامومتر ادی کارنت

از نظر کنترل‌پذیری، دینامومترها به ترتیب، ژنراتوری الکتریکی، ادی کارنت و هیدرولیکی دسته‌بندی می‌شوند. از نظر مقایسه قیمت، ارزان‌ترین دینامومتر، نوع هیدرولیکی و گرانترین، نوع ژنراتوری الکتریکی است. دینامومتر ادی کارنت با قیمت متوسط و کنترل‌پذیری خوب برای توان‌های پایین و متوسط برای تست‌های پایدار (غیر گذرا) مناسب می‌باشد [۴].

دینامومتر ژنراتوری جریان مستقیم بدلیل داشتن جاروبک و کلکتور نیاز به مواظبت و نگهداری بیشتری نسبت به دینامومتر ژنراتوری جریان متناوب دارد. در گذشته بدلیل عدم گسترش فن‌آوری درایوهای مجهز به نیم‌هادی‌های سوئیچینگ از دینامومتر ژنراتوری جریان مستقیم استفاده می‌شد. امروزه بدلیل گسترش فن‌آوری درایوهای مجهز به به نیم‌هادی‌های سوئیچینگ و ارزان شدن نسبی آن از دینامومتر ژنراتوری جریان متناوب بیشتر استفاده می‌شود و عملاً دینامومتر ژنراتوری جریان متناوب جایگزین دینامومتر ژنراتوری جریان مستقیم شده‌است.

- ادی کارنت یا جریان گردابی
 - مزیت: سادگی سیستم، توان متوسط، گشتاور متوسط، دور بالا، قابلیت تحمل بارگذاری دائم، نسبت توان به حجم و وزن متوسط، نیاز به تعمیر و نگهداری کم و نصب نسبتاً آسان
 - معایب: گشتاور کم در دور کم و یا صفر، نداشتن حالت (مود) موتورینگ، دقت متوسط نسبت به نمونه‌های بعدی، پاسخ زمانی متوسط برای وضعیت گذرا
 - ژنراتوری جریان مستقیم
 - مزیت: قابلیت وضعیت موتورینگ، دقت بالا، پاسخ زمانی عالی برای وضعیت گذرا، اعمال گشتاور در دور کم و یا صفر عالی، قابلیت تحمل بارگذاری دائم،
 - معایب: نصب سخت و پیچیده، سیستم پیچیده، توان کم، گشتاور ماکزیمم کم، نسبت توان به حجم و وزن زیاد، نیاز به مراقبت و نگهداری متوسط، قیمت زیاد
 - ژنراتوری جریان متناوب
 - مزیت: قابلیت وضعیت موتورینگ، دقت بالا، پاسخ زمانی عالی برای وضعیت گذرا، اعمال گشتاور در دور کم و یا صفر عالی، قابلیت تحمل بارگذاری دائم، نیاز به مراقبت و نگهداری کم
 - معایب: نصب سخت و پیچیده، سیستم پیچیده، توان کم، گشتاور ماکزیمم کم، نسبت توان به حجم و وزن زیاد، قیمت زیاد
 - ترکیب دینامومترهای فوق
 - برای حذف و یا کم کردن معایب دینامومترهای فوق و جمع کردن مزایای انواع دینامومتر از ترکیب یا موازی کردن انواع دینامومترها استفاده می‌شود [۲].
- نمونه شکل برش خورده یک دینامومتر ادی کارنت که نسبت به نمونه‌های دیگر در صنعت پرمصرف‌تر است در شکل ۱ نشان داده شده است
- با توجه به توضیحات فوق، معمولاً برای تست‌های گذرا و شبیه‌سازی شتاب‌گیری موتور از دینامومترهای ژنراتوری الکتریکی استفاده می‌شود. در دینامومترهای شاسی معمولاً از دینامومترهای ژنراتوری الکتریکی استفاده می‌شود تا در دوره‌های پایین توان ترمزی خوبی داشته باشد و شتاب‌گیری در آن قابل مدلسازی باشد.
- برای توان‌های بالا از دینامومترهای هیدرولیکی استفاده می‌شود تا در اندازه و حجم معقول توان ترمزی مناسبی وجود داشته باشد و قیمت تجهیز نسبت به توان ترمزی پایین باشد.
- در اتاق تست‌های جدید، معمولاً از دینامومتر هیدرولیکی، ادی کارنت و ژنراتوری جریان مستقیم یا متناوب استفاده شده و از دینامومتر اصطکاکی استفاده نمی‌شود.
- در آزمون موتورهای الکتریکی به اندازه‌گیری گشتاور در دور صفر (گشتاور راه‌اندازی) نیاز است. دینامومترهای ژنراتوری الکتریکی و دینامومتر پودری-ادی کارنت برای این آزمون مناسب می‌باشند. دینامومترهای پودری ادی کارنت از ترکیب دینامومتر ادی کارنت با اصطکاکی ساخته می‌شود. با این ترکیب، عیب نداشتن ترمز قابل ملاحظه دینامومتر ادی کارنت در دور صفر بر طرف می‌شود. ولی این دینامومتر ترکیبی (پودری-ادی کارنت) برای دور بالا مناسب نمی‌باشد [۳].

دینامومترها در دو حالت موتوری و ترمزی امکان کارکرد دارند. برای هر یک از این حالتها دو جهت چرخش وجود دارد که مجموعاً چهار حالت کاری برای دینامومتر به وجود می‌آورد. این حالتها در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: جمع حالت‌های کاری دینامومترها [۱].

در جدول ۱ قابلیت حالت‌های کاری انواع دینامومتر دسته‌بندی شده است. جدول ۱: قابلیت حالت‌های کاری انواع دینامومتر [۱].

Type of machine	Quadrant
Hydraulic sluice plate	1 or 2
Variable fill hydraulic	1 or 2
'Bolt on' variable fill hydraulic	1 or 2
Disc type hydraulic	1 and 2
Hydrostatic	1, 2, 3, 4
d.c. electrical	1, 2, 3, 4
a.c. electrical	1, 2, 3, 4
Eddy current	1 and 2
Friction brake	1 and 2
Air brake	1 and 2
Hybrid	1, 2, 3, 4

۵. انتخاب دینامومتر

علاوه بر موارد فوق، بعضی دیگر از پارامترهای مهم انتخاب دینامومتر به شرح زیر می‌باشد [۶]:

- پاسخ زمانی مورد نیاز
- ضریب کار دینامومتر
- تحمل اضافه بار سیستم
- سیکل تغییرات بار در محدوده ماکزیمم و مینیمم
- دقت اندازه‌گیری برای کوچکترین موتور مورد تست برای دینامومتر
- روش استارت موتور
- وضعیت آب خنک‌کننده موجود برای دینامومتر
- وضعیت تغییرات فشار آب در موقع کارکرد دینامومتر
- وضعیت تغییرات ولتاژ برق شبکه
- وضعیت بار محوری انتقالی از موتور به دینامومتر
- و ...

۶. پارامترهای قابل اندازه‌گیری در دینامومتر

در کلیه دینامومترها دو پارامتر دور و گشتاور اندازه‌گیری می‌شود. در هیچ دینامومتری پارامتر توان مستقیماً اندازه‌گیری نمی‌شود، از حاصل ضرب دور و گشتاور اندازه‌گیری شده توان در سیستم کنترل محاسبه می‌شود.

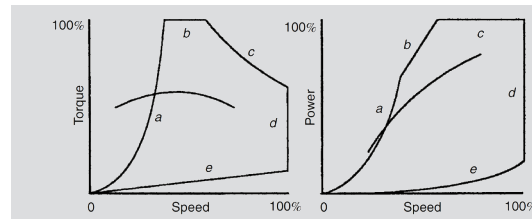
پارامتر دور با هزینه نسبی کم با انواع سنسورهای مغناطیسی و پراکسی در دینامومترها اندازه‌گیری می‌شود.

اما اندازه‌گیری گشتاور به سادگی پارامتر دور نمی‌باشد. در دینامومترها در حالت پایدار، گشتاور روتور با عکس‌العمل این گشتاور در پوسته

روتور دینامومترهای ادی‌کارنت در دو نوع دیسکی (مثل دینامومترهای شرکت شنک آلمان) و استوانه‌ای (مثل دینامومترهای شرکت زولنر) ساخته می‌شوند. در نوع دیسکی خنک‌کاری از سطح دو پهلوی دیسک و در نوع استوانه‌ای، خنک‌کاری از محیط استوانه انجام می‌شود. دینامومتر روتور دیسکی ادی‌کارنت دارای ممان اینرسی کمتری نسبت به دینامومتر روتور استوانه‌ای ادی‌کارنت می‌باشد. دینامومتر روتور دیسکی به نیروی محوری خارجی شدت حساس بوده و آسیب‌پذیر است [۵].

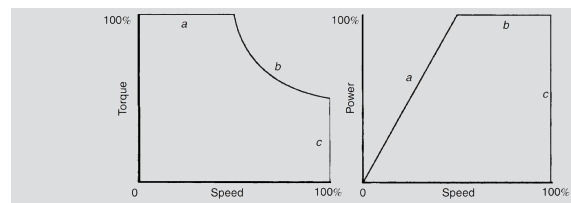
۴. منحنی عملکرد دینامومترها

رفتار دینامومترها متفاوت بوده و هر یک از آنها برای شرایط خاصی مناسب هستند. این تفاوت رفتارها را می‌توان در منحنی عملکرد آنها مشاهده نمود. در شکل ۲ منحنی گشتاور و توان برای دینامومتر هیدرولیکی به همراه منحنی بار یک موتور احتراق داخلی نشان داده شده است. این نوع دینامومتر در دور صفر گشتاور قابل ملاحظه‌ای تولید نمی‌کند. ناحیه b ناشی از محدودیت حداکثر گشتاور، ناحیه c ناشی از محدودیت حداکثر دقت انتقال حرارت، ناحیه d ناشی از محدودیت حداکثر دور و ناحیه e ناشی از محدودیت حداقل دقت می‌باشد.



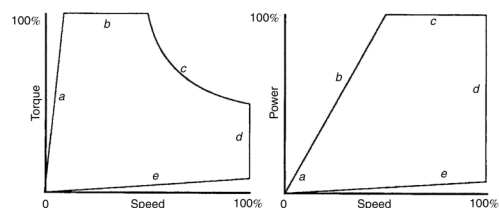
شکل ۲: منحنی گشتاور و توان برای دینامومتر هیدرولیکی نسبت به دور به همراه منحنی بار موتور احتراق داخلی [۱].

در شکل ۳ نمونه منحنی گشتاور و توان برای دینامومتر ژنراتوری الکتریکی نشان داده شده است. ناحیه a ناشی از محدودیت حداکثر گشتاور، ناحیه b ناشی از محدودیت حداکثر قدرت یا توان الکتریکی و ناحیه c ناشی از محدودیت حداکثر دور می‌باشد. این نوع دینامومتر در دور صفر قدرت بارگذاری دارد که به عنوان یک مزیت مهم محسوب می‌شود.



شکل ۳: منحنی گشتاور و توان برای دینامومتر ژنراتوری الکتریکی [۱].

در شکل ۴ منحنی گشتاور و توان برای دینامومتر ادی‌کارنت نشان داده شده است. ناحیه a ناشی از محدودیت حداکثر گشتاور ناشی از محدودیت حداکثر میدان مغناطیسی، ناحیه b ناشی از محدودیت حداکثر گشتاور، ناحیه c ناشی از محدودیت انتقال حرارت، ناحیه d ناشی از محدودیت حداکثر دور و ناحیه e ناشی از محدودیت حداقل دقت می‌باشد. در این نوع دینامومتر مشابه دینامومتر هیدرولیکی در دور صفر گشتاور قابل ملاحظه‌ای تولید نمی‌شود.



شکل ۴: منحنی گشتاور و توان برای دینامومتر ادی‌کارنت [۱].

۷. محدوده دور و توان دینامومترهای متداول

جدول ۲ محدوده دور و توان دینامومترهای متداول را نشان می‌دهد. در این جدول دو محدودیت حداقل دور و حداکثر توان در بعضی از انواع دینامومترها قابل توجه می‌باشد.

جدول ۲: محدوده دور و توان دینامومترهای متداول [۴] [۶]

حداکثر توان kW	حداقل توان kW	حداکثر دور rpm	حداقل دور rpm	
1200	0.001	100000	100	ادی کارنت
400	0.010	24000	0	ژنراتوری
9800	5	15000	100	هیدرولیکی پروانه ای
50000	10	20000	500	هیدرولیکی دیسکی

سیستم کنترل یک موتور-دینامومتر باید دارای مودهای مختلف باشد. برای موتور سه پارامتر درجه ترانل، دور موتور و گشتاور موتور قابل تعریف است.

برای دینامومتر سه پارامتر مقدار بار، دور دینامومتر و گشتاور بارگذاری دینامومتر قابل تعریف است، که با حذف پارامترهای مشترک ۴ پارامتر مستقل باقی می‌ماند. مودهای کارکرد مجموعه موتور-دینامومتر با این چهار پارامتر تعریف می‌شود.

مودهای کاری اصلی دینامومترهای موتورهای احتراق داخلی شامل: دور ثابت با درجه ترانل ثابت، گشتاور ثابت با درجه ترانل ثابت، توان ثابت با درجه ترانل ثابت، دور ثابت با گشتاور ثابت، دور ثابت با درجه ترانل ۱۰۰٪ (فول لود)، دور ثابت با درجه ترانل خاص برای تولید درصد معین توان (پارت لود) می‌باشند که برای تست موتورهای برقی مود کاری توان الکتریکی ورودی ثابت نیز به حالت‌های فوق اضافه می‌شود.

امروزه برای کنترل مطمئن تر دینامومترها از یک کامپیوتر صنعتی برای کنترل دینامومتر و یک کامپیوتر مانیتورینگ برای ثبت داده‌ها و نمایش داده‌ها و تعریف سیکل کاری و ... استفاده می‌شود. یکی از مشکلات اتاق تست انتخاب شفت اتصال موتور به دینامومتر است.

این شفت باید منعطف باشد، تا غیر هم مرکزی جزئی بین موتور و دینامومتر را جبران نماید.

در دینامومترهای با توان پایین از انواع کوپلینگ‌های پنجه‌ای با لاستیک ضربه‌گیر در داخل کوپلینگ استفاده می‌شود.

در دورهای پایین از قدیم در تست موتورها از چهار شاخه گاردان استفاده می‌شده است، که مزیت آن قبول غیر هم مرکزی زیاد موتور با دینامومتر است. عیب این روش شکست گاردان در اثر ضربات ارتعاشات پیچشی و تشدید و تخریب در سرعت بحرانی می‌باشد. برای حل این مشکل امروزه، در یک طرف شفت از ضربه‌گیر لاستیکی برای حذف ضربات ارتعاشات پیچشی و میرا نمودن آن استفاده می‌شود. در این شفتها حداکثر مقدار غیر هم مرکزی موتور با دینامومتر محدود بوده و در مرحله نصب باید موتور دقیقاً با دینامومتر هم مرکز شود.

۸. دینامومترهای موجود در صنایع ایران

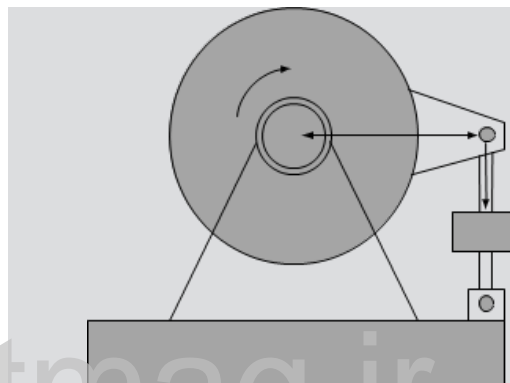
تا آنجا که برای نویسندگان مقاله مقدور بوده است در این بخش کلیاتی در مورد دینامومترهای موجود در صنایع ایران شرح داده می‌شود. در ایران در صنایع خودروسازی، موتورسیکلت‌سازی، ترابری، مراکز تحقیق و توسعه صنایع، آزمایشگاه تست موتور دانشگاه‌ها، کارخانجات تولید موتور الکتریکی، آزمایشگاه‌های آزمون موتور اداره استاندارد، صنایع دفاعی و ... تجهیزات دینامومتر موجود می‌باشد.

دستگاه دینامومترهای موتورهای احتراق داخلی دیزل، بنزینی و الکتریکی موجود در ایران از مارک‌های شرکت‌های اروپایی، امریکایی، آسیایی و ایرانی می‌باشند.

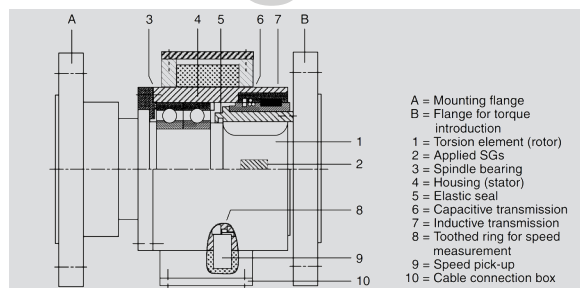
برابر می‌باشد. بنا بر این در دینامومترهای قدیمی با استفاده از وزنه و یا فنر و تبدیل تغییر طول فنر به نمایشگر عقربه‌ای، گشتاور روتور در روی پوسته اندازه‌گیری می‌شده است. در دینامومترهای امروزی گشتاور روتور در روی پوسته معلق توسط لودسل اندازه‌گیری می‌شود. این روش اندازه‌گیری بیشتر در دینامومترهای ادی کارنت و هیدرولیکی استفاده می‌شود. به دلیل ثابت بودن پوسته، این روش اندازه‌گیری ارزان می‌باشد و تنها عیب آن غیر دقیق بودن در تست گذرا می‌باشد.

در دینامومترهای الکتریکی پارامتر گشتاور با گشتاورسنج دوار اندازه‌گیری می‌شود. این روش به معلق کردن پوسته دینامومتر نیاز ندارد و در تست گذرا (شتاب گیری) قابل استفاده است. هزینه زیاد اولیه، مشکل کالیبراسیون و تعمیر و نگهداری سخت تجهیز از معایب آن می‌باشد. در شکل ۷ یک نمونه گشتاور سنج پایه دار و در شکل ۸ یک نمونه گشتاور سنج فلائچی بدون نیاز به تکیه گاه مجزا نشان داده شده است.

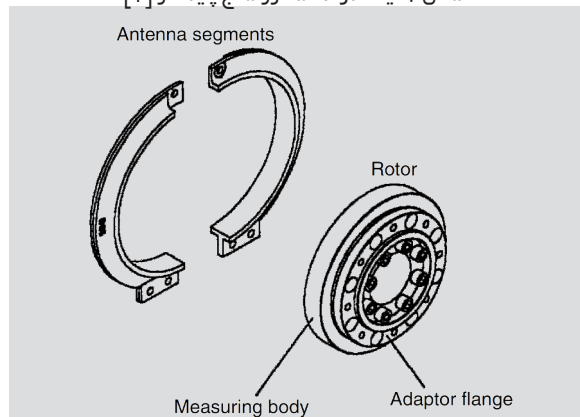
در گشتاور سنج فلائچی به کوپلینگ منعطف مجزا نیاز نیست. این نکته به ویژه در دورهای بالا، یک مزیت محسوب می‌شود، ولی قیمت این نوع گشتاور سنج حدوداً تا ۱۰۰٪ گرانتر از نوع پایه دار می‌باشد که این به عنوان عیب آن شناخته می‌شود.



شکل ۶: اندازه‌گیری گشتاور با لودسل در دینامومتر [۱]



شکل ۷: یک نمونه گشتاور سنج پایه دار [۱]



شکل ۸: یک نمونه گشتاور سنج فلائچی [۱]

با ما در وب سایتمان بیشتر آشنا شوید هم اکنون!

مشترک شوید.....



- تعدادی از مراکزی که در ایران مجهز به دینامومتر هستند، به شرح زیر معرفی می شوند
- کارخانجات خودروسازی
 - کارخانجات موتورسیکلت‌سازی
 - مراکز بازرسی و کنترل کیفیت
 - مراکز تحقیق و توسعه صنایع
 - دانشکده‌های مکانیک و برق و ...
 - مراکز تست موتور بعد از تعمیر اساسی
 - کارخانجات تولید موتور الکتریکی
 - آزمایشگاه‌های تست موتور الکتریکی
 - آزمایشگاه‌های تست موتور کشاورزی

۸. شرکت‌های فعال در زمینه دینامومتر در ایران

- نمایندگی شرکت‌های خارجی
- شرکت‌های مستقل داخلی که به تولید و یا مونتاژ دینامومتر اشتغال دارند.

۹. نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از تجربه چندین ساله صنعتی در زمینه طراحی، تولید و نگهداری دینامومتر در ایران سعی شده است تا یک تاریخچه کلی از وضعیت دینامومترهای صنعتی ارائه شود. همچنین در زمینه انتخاب دینامومتر، منحنی مشخصه، مزایا و معایب دینامومترهای متداول ذکر شده است. هدف از این کار آگاهی دادن به افرادی است که در ایران، برای پروژه خود نیاز به آزمون دینامومتری داشته و برای خرید یا استفاده از خدمات دینامومتری به اطلاعات عمومی در زمینه دینامومتر نیاز دارند. این افراد می‌توانند اطلاعات عمومی در زمینه مزایا، معایب و تفاوت‌های عملکرد دینامومترها را کسب نموده و برای زمینه کاری خود دینامومتر مناسب‌تری را انتخاب نمایند. امید است که اطلاعات این مقاله مورد استفاده محققین و صنعتگران کشورمان قرار گیرد.

۱۰. مراجع

- [1] Plint, M., and Martyr, A., J., "Engine Testing Theory and Practice," Elsevier Ltd., Third Edition 2007.
- [2] Dyno-Mite Co." www.land-and-sea.com"
- [3] Magtrol Co." www.Magtrol.com"
- [4] Schenck Pegasus GmbH,"www.Schenck.net."
- [5] Borghi & Saveri Co. "www.borghisaveri.it"
- [6] Kahn Industries. Inc. "www.Kahn.com"
- [7] پیروز پناه، وهاب و محمدی کوشا، اسدالله "تست موتورهای احتراق داخلی"، چاپ دانشگاه تبریز، ۱۳۷۴

www.testmag.ir

