

مواد افزودنی و روغن های موتور

روغن های موتور بالاترین درصد مصرف مواد افزودنی در مقایسه با مواد افزودنی روغن توربین، هیدرولیک و دنده را دارند.

روغن های موتور با سطوح کیفیت مختلف حاوی بسیاری از انواع افزودنی های مشابه است که در آن با توجه به کاربردها به همان دلیل یافت می شود. به طور خاص، افزودنی های مورد استفاده در روغن های موتور عبارتند از: بازدارنده های زنگ زدگی و اکسیداسیون، بازدارنده های خوردگی، بازدارنده های کف، کاهش دهنده های نقطه ریزش، افزودنی های ضد سایش و بهبود دهنده های شاخص گرانروی. مهم ترین تفاوت در انواع روغن موتور میزان افزودنی های کاربردی روغن موتور مثل مواد پاک کننده و پراکنده کننده است.

موتورهای احتراق داخلی با سوختن سریع مخلوط سوخت اتمیزه شده با هوا (مخصوصاً اکسیژن) باعث انبساط زیاد مخلوط می شود. انبساط باعث ایجاد فشار بر روی پیستون های موتور در داخل سیلندرها و در نتیجه باعث چرخش میل لنگ متصل به پیستون ها و در نهایت تبدیل سوخت به انرژی مکانیکی می شود. بدیهی است یاتاقان های موتور مانند یاتاقان ها در کاربردهای قبلی نیاز به روان کاری دارند. با این وجود، مکانیک پیستون و سیلندر، همراه با احتراق سوخت در موتور، چالش های زیادی را برای روغن موتور ایجاد می کند. علاوه بر این، به دلیل تغییرات گسترده سرعت، بار و دما در موتور، این چالش ها حتی پیچیده ترمی شود و نیاز به بیش از یک رژیم روان کاری را برای هر جزء اقتضاء می کند.

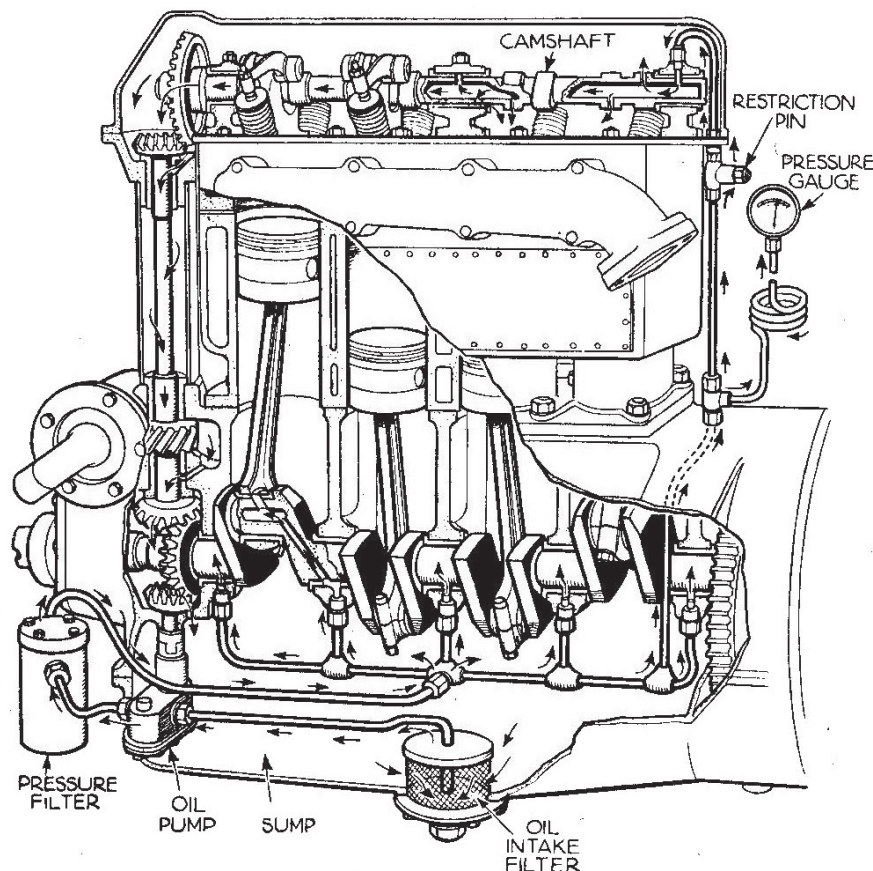
در هنگام استارت موتور برای تمام اجزای متحرک موتور روان کاری لایه مرزی و مخلوط عنصر مهم و غالب است. بنابراین روغن موتور باید دارای مقدار مناسبی از مواد افزودنی ضد سایش باشد.

مهم ترین تفاوت در کاربرد روغن های موتور، مواد افزودنی پاک کننده و پراکنده کننده ها هستند.

در سرعت های معمولی یاتاقان های میل لنگ و میل بادامک موتور از طریق گذرگاه های روغن در شفت ها روان کاری می شوند و لایه روان کننده کافی برای ایجاد روان کاری لایه کامل سیال یا روان کاری هیدرودینامیکی در یاتاقان ها زمانی که موتور کار می کند (شکل ۱) را فراهم می کند.

درخواست برای بهبود رانندگی موتور باعث شد تا روغن موتورهای با گرانروی کمتر که امروزه برای کاهش اصطکاک داخلی موتور مورد استفاده قرار می گیرد، انجام شود. خوشبختانه، ماشین کاری بهتر یاتاقان های موتور، یعنی سطوح صاف تر یاتاقان، باعث می شود که رژیم روان کاری هیدرودینامیکی همچنان با گرانروی کمتر شکل بگیرد. لایه روان کننده نازک تر به این معنی می باشد که حساسیت به آلودگی ذرات بیشتر می شود، یعنی روغن

تمیزتر حتی حیاتی تر است. مجموعه پیستون، رینگ و سیلندر به روانکاری پاششی متکی است. رینگ پیستون در مقابل دیواره سیلندر پیچیده ترین مکانیزم روان کاری را در موتور دارد.



شکل ۱. روانکاری موتور. شکل توسط اندی دینگلی (اسکندر) - اسکن از اتوکار (ویرایش سیزدهم، سال ۱۹۳۵)، کتاب راهنمای خودرو، لندن: انتشارات ایلیف و پسران،

روانکاری لایه مرزی در بالا، پایین و مراکزی که حرکتی وجود ندارد، دیده می شود، جایی که حرکت لغزشی روانکار متوقف می شود و جهت معکوس می شود. لبه جداکننده لایه روان کننده باید در هر تغییر جهت دوباره ایجاد شود. روان کاری هیدرودینامیکی ممکن است بین رینگ و سیلندر در طی میان ضربه شکل بگیرد. لایه روان کننده بین رینگ و دیواره سیلندر در محفظه احتراق باید آبنندی (هوابندی) ایجاد کند تا جلوگیری از پس زدن مخلوط هوا و سوخت، به حداقل رساندن سایش، کنترل مصرف روغن، کاهش اصطکاک و انتقال حرارت کند.

ضخامت لایه روان کننده بین رینگ و دیواره سیلندر بسیار مهم است تا روغن بیش از حد وارد محفظه احتراق نشود. ورود روغن بیش از حد به محفظه احتراق باعث مصرف بیش از حد روغن می شود که منجر به ایجاد

رسوب روی شمع در موتورهای بنزینی، روی سوپاپ‌های خروجی، روی پیستون و سایر اجزای قابل خراب شدن موتور می‌شود. مصرف بیش از حد روغن همچنین به مبدل های کاتالیزوری در سیستم اگزوز که برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای طراحی شده است، آسیب می‌رساند.

طراحی رینگ و سطح صاف سیلندر بخشی از طراحی موتور برای کنترل روغن در محفظه احتراق هستند، اما روغن های موتور چند درجه ای به کنترل میزان مصرف روغن کمک می‌کنند. روغن های چند درجه ای با بهبود دهنده های شاخص گرانی (VII) فرموله می‌شوند که پلیمرهای بلندی هستند که با افزایش دما باز می‌شوند و به طور موثر اندازه آنها و گرانی روغن را افزایش می‌دهند. در دماهای پایین، این پلیمرها دوباره به هم می‌پیچند تا روغن را به گرانی اولیه خود بازگرداند. این امر سرعت تغییر گرانی با دما را کاهش می‌دهد و فرموله کردن روغن های چند درجه را ممکن می‌سازد. روغن های چند درجه باعث استارت زدن آسان تر و جریان سریع تر روغن در سرتاسر موتور در دمای سرد می‌شوند و در عین حال در دمای بالای موتور لایه روان کننده کافی برای محافظت از اجزای متحرک موتور فراهم می‌کنند. افزودنی های بهبود دهنده شاخص گرانی VII تحت فشار زیاد ناحیه رینگ و دیواره سیلندر بطور موقت از دست دادن گرانی را نشان می‌دهند. این افت گرانی موقت به کاهش مقدار روغنی که وارد محفظه احتراق می‌شود کمک می‌کند. استفاده از روغن با گرانی بالاتر فشار روغن موتور را افزایش می‌دهد که می‌تواند هشدار "فشار کم روغن" را متوقف کند، اما به مرور زمان با استفاده از روغن با گرانی بالاتر ممکن است منجر به ورود روغن بیشتر به محفظه احتراق شود. یک نکته در این مورد این است که روغن با گرانی بالاتر ممکن است کمی نشت روغن را کاهش دهد، اما نه برای مدت طولانی. اما در مسافت پیموده شده طولانی روغن های موتور می‌تواند بدلیل بالا رفتن گرانی ناشی از مصرف شدن مواد افزودنی جلوگیری از نشت روغن بهتری داشته باشند.

رینگ های روی پیستون در معرض دمای احتراق بسیار بالا هستند، همزمان روغن رینگ ها را روان کاری و آب بندی می‌کند. بنابراین، روغن موتور باید مواد افزودنی بازدارنده اکسیداسیون بسیار خوب علاوه بر مواد پاک کننده داشته باشد. بازدارنده های اکسیداسیون قطعات موتور را در برابر تخریب روغن و تشکیل رسوبات لاک مانند محافظت می‌کنند، اما در این محیط های شدیداً پر تنش حفاظت بیشتری مورد نیاز است. رسوبات بیش از حد در شیارهای رینگ پیستون مانع از حرکت آزادانه رینگ ها در داخل شیارها و آب بندی مناسب می‌شود که منجر به برگشت مخلوط سوخت و هوا، مصرف روغن بیشتر و احتمالاً شکستن رینگ ها می‌شود. مواد پاک کننده، همانطور که از نام آن پیداست، به تمیز نگه داشتن شیارهای رینگ و تاج پیستون از رسوبات در دماهای احتراق بالا کمک می‌کنند (شکل ۲ را ببینید). مواد پاک کننده از نظر شیمیایی با محصولات حاصل از اکسیداسیون روغن مانند لاک و دیگر رسوبات واکنش می‌دهند تا از چسبیدن آنها به سطوح فلزی پیستون و رینگ ها در سراسر سطح داخل موتور جلوگیری کند.



شکل ۲. دو پیستون فلزی خودرو در شرایط نامناسب.

خوردگی یا تاقان به دلیل ایجاد محصولات جانبی حاصل از احتراق اسیدها و آب که وارد روغن می شوند، یک فرآیند تخریبی بالقوه است. اگر کنترل نشود، این اسیدها و آب باعث خوردگی و زنگ زدگی سطوح فلزی در سرتاسر اجزای داخلی موتور می شوند. بنابراین، مواد افزودنی پاک کننده روغن موتور به همراه بازدارنده های زنگ زدگی و خوردگی نه تنها به گونه ای طراحی شده اند که علاوه بر خنثی سازی اسیدها و جلوگیری از تخریب روغن، یک پوشش محافظ بر روی سطوح فلزی نیز ایجاد کنند. مواد افزودنی پاک کننده می توانند خنثی یا قلیایی باشند. مواد افزودنی پاک کننده قلیایی معمولاً "قلیائیت بالا" هستند و یک ذخیره قلیائیت پایه در روغن ایجاد می کنند که به نام عدد قلیائی (BN) شناخته می شود که قبلاً به عنوان عدد قلیائی کل شناخته می شد. روغن هایی با عدد قلیائی BN بالاتر قابلیت خنثی سازی اسید بیشتری دارد. باید توجه داشت که در این مورد هم زیاده روی خوب نیست. استفاده بیش از حد از مواد افزودنی پاک کننده می تواند در مقابل خاصیت حفاظتی ماده افزودنی ضد سایش اختلال ایجاد کرده یا منجر به تشکیل رسوب بیش از حد در دمای بالا شود، درست برعکس هدف مورد نظر مواد پاک کننده.

مواد افزودنی پاک کننده بیش از حد می تواند منجر به ایجاد خاکستر بیش از حد در موتور شود. پاک کننده ها در ساختار شیمیایی خود حاوی عناصر فلزی هستند. معمولاً، این فلزات کلسیم، منیزیم، بور یا سدیم هستند.

این پاک کننده های فلزی در هنگام سوختن خاکستر تولید می کنند. مقدار کمی خاکستر می تواند به حفاظت از سوپاپ و دریچه های آن در برابر سایش بیش از حد کمک کند. با این حال، وجود خاکستر بیش از حد روی نشیمنگاه های سوپاپ می تواند منجر به ایجاد شکاف یا فاصله در آب بندی نشیمنگاه سوپاپ شود که باعث سوختگی سوپاپ ها و در نتیجه ضرورت تعویض آن می شود.

مقدار خاکستر روغن با استاندارد ASTM D874 اندازه گیری می شود. در این آزمایش درصد وزنی باقیمانده از مقدار معینی از روغن سوزانده شده در حضور اسید سولفوریک سنجیده می شود. بنابراین، اغلب به عنوان مقدار خاکستر سولفات یا مقدار خاکستر نامیده می شود و بصورت "درصد وزنی" گزارش می شود. بطور کلی، مقدار خاکستر سولفات بالاتر عدد قلیائی BN بالاتر یا به عبارت دیگر قلیائیت ذخیره برای خنثی کردن اسیدها را نشان می دهد، اما این دو ارتباط مستقیمی با هم ندارند. برخی از مواد پاک کننده فلزی عدد قلیائی BN بیشتری نسبت به سایر مواد پاک کننده با همان مقدار خاکستر سولفات تولید می کنند. علاوه بر این، سایر مواد افزودنی روغن نیز ممکن است حاوی اجزای فلزی باشند، مانند روی در برخی از مواد افزودنی ضد سایش، که به مقدار خاکستر سولفات می افزاید. روغن موتورهای بنزینی و دیزلی دارای خاکستر سولفات ۱ درصد یا کمتر هستند. روغن موتورهای دریایی محتوای خاکستر سولفات بالاتر و عدد قلیائی BN بالاتری دارند زیرا باید اسیدهای حاصل از سوزاندن سوخت های حاوی گوگرد بالاتر را خنثی کنند. اگرچه، بر اساس آخرین مقررات آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا EPA در سال ۲۰۲۳ مقدار گوگرد مجاز در برخی از سوخت های دریایی را نیز کاهش داده است.

مکانیک پیستون و سیلندر همراه با احتراق سوخت در موتور، چالش های زیادی را برای روغن موتور ایجاد می کند.

در الزامات آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا EPA برای موتورهای احتراق داخلی نیز حداکثر مقدار و نوع مواد افزودنی مورد استفاده در روغن موتور و سوخت را تعیین کرده است. با وجود تعداد زیاد خودروهای موتور احتراق داخلی در جهان، حتی کوچکترین بهبود در آلاینده های تأثیر دارد. مبدل های کاتالیزوری امروزه در تمام خودروها و کامیون های جاده ای نصب می شود. موتورهای دریایی و لکوموتیوها نیز مشمول الزامات انتشار گازهای آلاینده هستند. تجهیزات نصب شده در عملیات بعد از موتور، می توانند به راحتی با مقدار خاکستر بیش از حد، مواد افزودنی فسفر و گوگرد دار بیش از حد در روغن یا سوخت، یا فقط روغن سوخته شده توسط موتور، مبدل های کاتالیزوری را مسدود یا غیرفعال کنند. بنابراین، ساخت پکیج های مواد افزودنی امروزی کاملاً از افزودنی هایی که حتی در ۱۰ سال پیش برای بهبود عملکرد از افزودنی های بدون خاکستر استفاده می شدند، متفاوت هستند.

مواد افزودنی پراکنده کننده عملکرد مواد پاک کننده در روغن موتورهای امروزی را تقویت می کنند. از آنجائیکه، مواد پراکنده کننده بدون خاکستر یا عاری از عناصر فلزی هستند، آنها در مناطق دارای هوای سرد به تمیز نگه داشتن سطوح فلزی کمک می کنند. مواد پراکنده کننده ها با چسبیدن به دوده و لاک موجب تشکیل مواد جدیدی می شوند، تا از تجمع یا بزرگ شدن آنها به حدی که از حالت معلق در روغن درآیند، جلوگیری کنند. مواد پراکنده کننده دوده را نیز کاهش می دهند و با جدا نگه داشتن این آلاینده ها گرانیروی مربوط به لجن افزایش می یابد. از آنجایی که آنها بدون خاکستر هستند، در مقدار خاکستر سولفات دیده نمی شوند. آنها حداقل به عدد قلیائی BN کمک می کنند، اما "استحکام" مواد پاک کننده در رابطه با عدد قلیائی BN را ندارند.

تقویت کننده آب بندها، گاهی اوقات با عنوان مواد افزودنی های جلوگیری کننده از جویده شدن آب بندها نامیده می شوند، در برخی از موتورهای کار کرده و یا خودروهایی که مسافت طولانی پیموده اند، استفاده می شوند. این افزودنی ها مواد آروماتیک کمی دارند و آب بندهای قدیمی و فرسوده موتور را با مقداری از روغن موجود پر می کنند. این امر به نرم ماندن آب بندها در مقابل شکننده شدن و در نتیجه به موتورهای قدیمی تر و کارکرد زیاد، کمک می کند تا نشت آب بند را به حداقل برسانند.

روغنهای موتور مورد استفاده در موتورهای کار کرده و یا مسافت پیموده شده طولانی نیز ممکن است از روغنهای با درجه گرانیروی بالا SAE استفاده شوند تا فشار روغن را در محدوده، به ویژه در حالت خلاصی موتور، حفظ کنند. یاتاقان موتورهای قدیمی تر ممکن است گشادتر شده باشند، بنابراین روغن های با گرانیروی پایین تر مثل روغن های موتور امروزی ممکن است تا مدت زیادی در یاتاقان باقی نمانند و در نتیجه فشار روغن پایین تر و لایه روان کننده نازک تر شود. گرانیروی روغن کمی بالاتر، بویژه در محدوده درجه SAE، به حفظ فشار روغن و لایه روان کننده مناسب کمک می کند.

یکی دیگر از ویژگی های عملکرد روغن موتور که به برآوردن الزامات آلاینده های امروز کمک می کند، فراریت روغن است. فراریت کمتر روغن منجر به سوختن یا بخار شدن کمتر روغن در موتور می شود. فراریت روغن موتور عمدتاً توسط روغن پایه استفاده شده در ساخت روغن موتور کنترل می شود. روغن های با گرانیروی پایین تر معمولاً فراریت بالاتری نسبت به روغن های با گرانیروی بالاتر از همان پایه دارند. بیشتر روغن های پایه سنتتیک فراریت کمتری نسبت به روغن های پایه معدنی با گرانیروی یکسان دارند. به همین دلیل است که بسیاری از موتورها نیاز به روغن موتورهای سنتتیک دارند.