مقاله

دلائل ایجاد سروصدا در چرخ‌دنده‌ها و روش‌های حذف آن

جهان تقی‌زاده*
استادیار گروه مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی قم
taghizadeh@qut.ac.ir

شهره شاملو
کارشناس مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی قم
shamloo.shohre@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۰۴

چکیده

تقریباً در تمامی چرخ‌دنده‌ها سطوح گوناگونی از سروصدا وجود دارد. به‌همین دلیل، بررسی علل ایجاد این پدیده و روش‌های حذف یا کاهش آن در زمرهٔ مسائل مهم صنعتی محسوب می‌شود. در این مقاله، نخست انواع چرخ‌دنده‌ها معرفی و براساس میزان سروصدای ایجادی تقسیم‌بندی و دلائل ایجاد سروصدا در آنها تشریح می‌شود. سپس، روش‌های کاهش سروصدا با نگاهی به پیشینهٔ موضوع مطرح و در ادامه روغن‌های موجود با تمرکز بر خواص تک‌تک آنها مطرح می‌شوند. در پایان مشخص می‌شود که باوجود طراحی صحیح چرخ‌دنده‌ها، عواملی چون نگه‌داری نادرست و عدم استفاده از روانکارهای مناسب، عمر و عملکرد چرخ‌دنده‌ها را به‌شدت کاهش می‌دهد.

واژگان کلیدی: سروصدا، چرخ‌دنده، روانکاری، پایداری روغن، کارایی

۱. مقدمه

چرخ‌دنده المانی است که حرکت و قدرت را بدون واسطه میان محورهای موازی، متنافر و صلیبی نزدیک به‌هم منتقل می‌کند. از جمله مزایای آن در مقایسه با سایر اجزای انتقال قدرت، همچون چرخ‌تسمه‌ها و چرخ‌زنجیرها، انتقال حرکت بدون لغزش توسط درگیری دندانه‌ها، اشغال فضای کمتر و بازدهی بیشتر است. از جمله معایب آن نیز می‌توان به انتقال نیرو همراه با لغزش، صلب‌بودن سیستم، نیاز به فاصلهٔ محوری دقیق نسبت به ابعاد چرخ‌دنده‌ها، گرانی سیستم و ایجاد سروصدای زیاد اشاره کرد [۱]. انواع چرخ‌دنده‌ها، با فرض اینکه همگی با دقت یکسان ساخته می‌شوند و با سرعت خط گام یکسان کار کنند، به‌ترتیب عبارت‌اند از:

۱. چرخ‌دنده‌های ساده
۲. مخروطی
۳. اسپیرال
۴. هیپوییید
۵. هیپوییید مارپیچ
۶. هلیکال
۷. جناغی (با دندانه‌های پیوسته)
۸. جفت چرخ‌دنده‌های حلزونی و اسپیروییید

در تقسیم‌بندی اخیر، این فرض مد نظر بوده است که همهٔ پینیون‌ها و چرخ‌دنده‌ها فولادی‌اند، مگر در مورد جفت چرخ‌دنده‌های حلزونی که برای آنها چرخ حلزون از جنس برنز ساخته می‌شود. در شکل ۱ نمایی از انواع چرخ‌دنده‌ها نمایش داده شده است.

معمولاً برای کاهش سروصدا در چرخ‌دنده‌ها از روانکارها استفاده می‌شود. شرایط استفاده از روانکارهای چرخ‌دنده نیز عموماً بسیار متفاوت است. مثلاً این روغن‌ها باید بتوانند در محیط‌های مرطوب، در دماهای عملیاتی و محیطی بالا و در شرایط آلوده کار کنند و در عین‌حال از سایش دنده‌ها، به‌خصوص در بارهای زیاد، جلوگیری نمایند. علاوه بر این، دو عامل اصلی دیگر نیز کارآیی روغن‌های دنده را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد:

۱. افزایش سطح توقع مصرف‌کنندگان برای روانکارهایی با طول عمر بیشتر به‌منظور کاهش هزینهٔ تعمیرات، تخلیه و تعویض دیرهنگام روغن
۲. طرح‌های اعمال‌شده توسط سازندگان ماشین‌آلات بدون توجه به استانداردها با تصور بهبود بازدهی جعبه‌دنده‌ها، به‌طوری‌که در این طرح‌ها، دنده‌ها کوچک شده و باید در سرعت‌های بیشتر کار کنند که این خود، افزایش دمای عملیاتی و تنش دنده‌ها و یاتاقان‌ها را به‌همراه دارد [۲].

شکل ۱. نمایی از انواع چرخ‌دنده‌ها

به‌عبارتی، دنده‌های کوچکتر یعنی فضای کمتر برای روغن؛ بنابراین مقدار روغن دنده کمتر می‌شود و به‌دنبال آن، خنک‌کاری قطعهٔ موردنظر و تعلیق آلودگی‌ها وجود ندارد و در نهایت عمر دنده به‌دلیل روانکاری کم به‌شدت کاهش می‌یابد.

۲. چرایی ایجاد سروصدا در چرخ‌دنده‌ها

صوت گونه‌ای از انرژی است که از تحرک ذرات مادی به‌وجود می‌آید؛ بدین‌گونه که یک ذره با حرکت و برخورد به ذرهٔ دیگر، آن را به‌حرکت درمی‌آورد و صوت نشر می‌یابد. صدا حرکتی ارتعاشی است که توسط حس شنوایی

درک می‌شود. معمولاً صداهایی که در هوا حرکت می‌کنند را می‌توان شنید، اما صدا می‌تواند در گازها، مایعات و حتی جامدات نیز حرکت کند. سرعت صوت در جامدات به‌دلیل تراکم زیاد مولکول‌ها، بیشتر از مایعات و در مایعات نیز بیشتر از گازهاست. صوت برخلاف امواج دیگر همچون نور و گرما فقط در محیطی نشر می‌یابد که ماده وجود داشته باشد و این بدان معناست که اگر بر سطح ماه (که هوایی وجود ندارد) انفجاری رخ دهد، هیچ‌گاه نمی‌توان صدای آن را شنید. قابل ذکر است که محدودهٔ شنوایی انسان بین ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز است و از واحد دسیبل برای اندازه‌گیری شدت صوت استفاده می‌شود. سروصداهای فراتر از ۸۰ دسیبل به‌طور بالقوه خطرناک‌اند. بنابراین ادواتی چون انواع چمن‌زن، هدفن، موتورسیکلت، تراکتور و جز این‌ها همگی بیش از ۹۰ دسیبل سروصدا تولید می‌کنند و برای سلامت شنوایی مضر می‌باشند. عموماً آستانهٔ درد گوش بین ۱۲۰ تا ۱۳۰ دسیبل است، اما آسیب به اعصاب شنوایی از ۸۵ دسیبل آغاز می‌شود. به‌طور کلی محدودیت‌های مجاز شدت سروصدا عبارت‌اند از:

۱.برای خواب راحت، حداکثر سروصدا ۳۰ تا ۳۵ دسیبل است.

۲.حداکثر سروصدای خارج محل مسکونی ۶۰ تا ۶۵ دسیبل است.

۳.بیشینهٔ سطح مجاز قرارگیری در معرض سروصدا، ۸۵ دسیبل و هشت ساعت در روز می‌باشد.

۴.برای گوش حفاظت‌نشده، زمان مجاز قرارگیری، با هر ۵ دسیبل افزایش سطح سروصدای متوسط (۸۵ دسیبل)، به نصف کاهش می‌یابد.

۵.هرگونه سروصدای بالای ۱۴۰ دسیبل غیرمجاز است.

۶.برای حفاظت گوش در برابر سروصداهای بالای ۱۰۵ دسیبل باید از پلاک گوش و گوشی استفاده کرد.

حل بجاست تا مفهوم سروصدا نیز به‌درستی تعریف شود. برای این منظور تعاریف زیر مطرح می‌شوند:

۱. هرگونه صدای ناخواسته و آزاردهنده سروصدا نامیده می‌شود.

۲. امواج صوتی با ارتعاشات نامنظم و فاقد زیر و بم مشخص سروصدا نامیده می‌شود.

۳. سیگنال‌هایی که در ردیابی یا کیفیت سیگنال دیگر تداخل ایجاد می‌کنند، سروصدا نامیده می‌شوند.

۴. سیگنال‌های صوتی که بر سلامت روان و جسم فرد اثر منفی دارند، سروصدا نامیده می‌شوند.

بنابراین کاهش سروصدای ناشی از کارکرد چرخ‌دنده‌ها ضروری است و در این میان، در بین عوامل ایجاد سروصدا در چرخ‌دنده‌ها، فرایند طراحی حرف اول را می‌زند. البته در چرخ‌دنده‌هایی با طراحی صحیح، اگر خطای ساخت‌وتولید داشته باشند، باز سروصدا ایجاد خواهد شد. عوامل معمول ایجاد سروصدا در چرخ‌دنده‌ها عبارت‌اند از:

۱. خطای اینولوت

۲. خطای فاصلهٔ دندانه‌ها

۳. لقی ناکافی

۴. تشدید پیکرهٔ چرخ‌دنده

۵. تشدید طولی و پیچشی محور

۶. تشدید محفظه

۷. تشدیدهای ماشین مقصد (دستگاه گرداننده)

۸. بزرگی توان دستگاه گرداننده (عموماً توان‌های ۱۰۰۰ اسب بخار)

واژهٔ تشدید که در موارد چهارم تا هفتم به‌کار رفته است واژه‌ای است که حالت جسم کشسان[1] را به‌هنگام ارتعاش در نزدیکی فرکانس طبیعی‌اش توصیف می‌کند. فرکانس طبیعی جسم را می‌توان با زدن ضربهٔ چکش رصد و اندازه‌گیری کرد. وقتی فرکانس درگیری دندانه‌های درگیر چرخ‌دنده با فرکانس طبیعی هریک از عناصر یادشده برابر یا نزدیک به آن باشد، این عناصر واکنش نشان می‌دهند و صدای تماس دندانه‌ها را تقویت می‌کنند. این پدیده حتی در چرخ‌دنده‌هایی با ساخت بسیار دقیق و کمینهٔ عیوب اول تا چهارم نیز اتفاق می‌افتد. بنابراین یافتن فرکانس طبیعی

تک‌تک اجزاء جهت حل مسئلهٔ سروصدای چرخ‌دنده‌ها ضروری است. جهت جلوگیری از ایجاد سروصدا، علاوه بر مهار فرکانس تشدید، ضروری است از نظر طراحی و ساخت چرخ‌دنده‌های ساده، مارپیچ و حلزونی تا سرحد امکان با کنش پشتگرد بزرگتر طراحی شوند و پینیون‌های ساده و مارپیچ بن‌تراشیدگی نداشته باشند. در چرخ‌دنده‌های مارپیچ، زاویه باید به‌قدر کافی بزرگ باشد تا همپوشانی دندانه‌ای کافی حاصل شود. در چرخ‌دنده‌های شیب‌دار، پهنای دندانه نباید از یک‌سوم طول فاصلهٔ مخروطی (طول یال پدیدآور مخروط) تجاوز کند [۳].

۳. روش‌های کاهش سروصدا

به‌طور کلی، روش‌های گوناگونی جهت کاهش سروصدا وجود دارد که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود:

۱. کاهش سروصدا: سدکردن مسیر عبور امواج صوت با استفاده از فاکتورهای فاصله و جانمایی اشیای حائل در مسیر صوت.

۲. فاصله: تراکم انرژی امواج صوتی با پراکندگی و انتشار صدا کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش فاصله میان منبع سروصدا و شنونده سبب کاهش شدت صوت می‌شود؛ زیرا شدت صوت با مجذور فاصلهٔ شنونده از منبع صوت نسبت عکس دارد.

۳. جذب سروصدا: تبدیل و تغییر شکل امواج صوت با مهار پژواک، انعکاس صدا و تشدید

۴. میرایی[۲]: در این روش ارتعاشات صوتی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شوند. عبور امواج از چندین لایه از مواد با چگالی متفاوت سبب میرایی صوت می‌شود؛ مثل استفاده از میراکننده‌هایی چون فوم. فلز سرب نیز باعث میرایی سروصدا می‌شود.

۵. حذف فعال صدا[۳]: این روش ایده‌ای جدید است که در آن، ابتدا یک میکروفن صداهای محیط را جمع‌آوری می‌کند. سپس به‌کمک رایانه امواج دریافتی تحلیل می‌شوند؛ امواجی که ۱۸۰ درجه از فاز امواج دریافتی متفاوت است از طریق بلندگوی سیستم خارج می‌شوند. این عمل سبب پیدایش تداخل مخرب و حذف سروصدای آزاردهنده می‌شود.

علاوه بر این موارد، از جمله روش‌های کاهش سروصدای چرخ‌دنده‌ها ساختن پینیون از مواد غیرفلزی است. اگرچه این روش کاربرد محدودی دارد، اما روش‌های دیگری نیز برای مقابله با سروصدای چرخ‌دنده‌ها وجود دارد که از جملهٔ آنها راه‌حلی است که نخستین‌بار باکینگهام در سال ۱۹۲۸ م به شرکت فورد موتور پیشنهاد کرد. در این طرح، در هر جعبه‌دندهٔ دو یا چندمرحله‌ای اگر تعداد تماس‌های دندانه به دندانه در جفت‌های درگیر صداهایی ایجاد کنند که باهم هماهنگ باشند، آزار ناشی از صدای درگیری دندانه‌ها کاهش می‌یابد [۴]. اغلب با کم و زیادکردن چند دندانه در مجموعهٔ چرخ‌دنده‌های جعبه‌دنده این کار شدنی است.

با آنکه از دیدگاه نظری مباحث دینامیک و صوت از شاخه‌های دانش مهندسی مکانیک محسوب می‌شوند، اما شاید ارتباط تنگاتنگ این دو در بحث طراحی ماشین قدری خاص باشد. واقعیت این است که این دو مقوله مستقل از هم نیستند و رابطهٔ نزدیکی میان آنها وجود دارد. به‌عبارت دیگر، تمایز میان موسیقی و سروصدا، تمایز میان دو مقولهٔ مطلوب و نامطلوب است. این نکته بدین دلیل مطرح می‌شود که در مورد جعبه‌دنده‌های تجاری که سروصدایشان را نمی‌توان به‌کلی حذف کرد و تنها می‌توان تا اندازه‌ای کاهش داد یا اینکه تا سرحد امکان نامحسوس یا قابل تحمل نمود؛ زیرا از دیدگاه مهندسی مکانیک این صداها محل‌شان مشخص و در دامنهٔ گام‌های پایین یافت می‌شوند.

واقعیت این است که سروصدای چرخ‌دنده‌ها بر اثر خطاهای کنش تک‌تک دندانه‌ها ایجاد می‌شود و گوش انسان صداهای برخاسته از ۳۲ تا ۳۸۰۰۰ بار ارتعاش در ثانیه را می‌شنود. بنابراین وقتی تعداد درگیری دندانه‌ای در ثانیه از ۳۲ تجاوز کند، نتیجهٔ آن سروصدای پیوسته‌ای است که

به‌صورت ضرب‌آهنگی[۴] از این منبع شنیده نمی‌شود. اما این‌گونه سرعت‌ها فراتر از دامنهٔ معمول کار چرخ‌دنده‌ها هستند. قابل ذکر است که در بحث موسیقی تعداد ارتعاشات در ثانیه برای نُت اصلی به‌عنوان مقیاس امری کاملاً قراردادی است، با آنکه اختلاف نظر در این زمینه بسیار است. اما نسبت بین ضرب‌آهنگ گوناگون، صرف‌نظر از تعداد دقیق ارتعاشات در ثانیه‌ای که به‌عنوان نقطهٔ شروع انتخاب شده باشد، ثابت است. در پیانو، معادل مقیاس اختیاری گام موسیقی با فرکانس مطابق جدول ۱ نشان داده شده است. بنابراین اگر یک جفت چرخ‌دنده با چنان سرعتی بچرخد که مثلاً ۲۴۰ تماس دندانه‌ای در ثانیه رخ دهد، گام صدا تقریباً معادل گام کلید b پیانو خواهد بود.

جدول ۱. معادل فرکانس با نُت

نُت	**فرکانس** (هرتز)
c	۱۲۸
d	۱۴۴
e	۱۶۰
f	۱۷۰/۶
g	۱۹۲
a	۲۱۳/۳
b	۲۴۰
c	۲۵۶

عموماً چرخ‌دنده‌ها پوشش یا پوسته‌ای خاص دارند. در این میان، چرخ‌دنده‌ها منبع ارتعاش و پوسته‌های مذکور تشدیدکننده محسوب می‌شوند. بنابراین فرکانس ضرب‌آهنگ طبیعی ۲۴۰ بار ارتعاش در ثانیه، در برابر ضرب‌آهنگ چرخ‌دنده‌ها در صورتی‌که سرعتش نزدیک به آن شود، واکنش نشان خواهد داد. حال اگر فرکانس ضرب‌آهنگ یکی از پوسته‌های چرخ‌دنده هم با این فرکانس طبیعی برابر باشد، تمایل به افزایش سروصدا بیشتر خواهد شد و در نتیجه سروصدایی پدید خواهد آمد که از سروصدای اولیه ناشی از چرخش چرخ‌دنده‌ها بسیار شدیدتر خواهد بود. بنابراین از نظر طراحی، پوستهٔ ایده‌ال برای چرخ‌دنده‌ها پوسته‌ای است که به هیچ ضرب‌آهنگی واکنش نشان ندهد. حال اگر در یک سازوکار مکانیکی دو یا چند جفت چرخ‌دنده درگیر شوند، علاوه بر تشدید باید هم‌صدایی را نیز در نظر گرفت. نتیجهٔ ترکیب ضرب‌آهنگ‌هایی که چند جفت چرخ‌دنده ایجاد می‌کنند ممکن است ناهماهنگ (سروصدا) یا هماهنگ (موسیقی) باشد و این به نسبت بین فرکانس ضرب‌آهنگ‌های آنها بستگی دارد. به‌طور کلی، اختلاف بین موسیقی و سروصدا در این است که سروصدا ناخوشایند است و موسیقی لذت‌بخش.

از طرف دیگر، از دیدگاه علم مکانیک هرجا سروصدا باشد ارتعاش نیز هست و می‌تواند دردسرآفرین باشد. پس کافی نیست تنها سروصدا را ساکت یا از میزان آزاردهندگی آن بکاهیم. باید منبع سروصدا را نیز مورد توجه قرار دهیم تا اگر فرکانس طبیعی عنصری با فرکانس منبع برابر یا به آن نزدیک باشد مشخص شود. وقتی این مسائل مشخص شد، میراکردن ارتعاش یا تغییر آن به هر نحو نسبتاً آسان خواهد بود [۵].

۴. روانکاری دنده‌های بسته و انتخاب آنها

سیستم روانکاری از فرسایش قطعات و اصطکاک بین قطعات متحرک جلوگیری و ضمن روان‌نمودن حرکت از سروصدای اعضاء جلوگیری می‌کند. این سیستم با تشکیل یک لایهٔ نازک از روغن بین قطعات متحرک از تماس آنها با یگدیگر جلوگیری می‌کند [۶]. برای تشکیل لایهٔ نازک روغن نخست باید لقی قطعات نسبت به‌هم کم و در حدود ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۳ باشد. به‌طور کلی روغن‌ها باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

۱. پایداری حرارتی
۲. پایداری در برابر اکسیداسیون
۳. سازگاری با آب‌بندها
۴. محافظت دنده‌ها و یاتاقان‌ها در برابر سایش

۵. مقاومت در دمای زیاد و فشار بالا
۶. پاک‌کنندگی دنده و یاتاقان
۷. محافظت در برابر زنگ‌زدگی و خوردگی
۸. خواص ضد کف

اتحادیهٔ سازندگان دندهٔ امریکا (آگما)[5]، استانداردی با نام روانکاری دنده‌های صنعتی، AGMA 9005 D94، منتشر کرده است که در آن طبقه‌بندی روانکارها، کاربردهای عمومی و روش سرویس‌کردن دنده‌هایی که مطابق با اصول توصیه‌شدهٔ آگما طراحی شده‌اند ارائه می‌شود. چهار نوع روغن معرفی‌شده در این استاندارد عبارت‌اند از:

۱. روغن‌های ضد زنگ و اکسیداسیون
۲. روغن‌های مرکب
۳. روغن‌های EP
۴. روغن‌های سنتتیک

در ادامه در مورد هر یک از این موارد توضیح مختصری ارائه می‌شود.

۴-۱. روغن‌های ضد رنگ و اکسیداسیون

عموماً این روغن‌ها را با نام روغن‌های R&O می‌شناسند. این مواد، روغن‌هایی با پایهٔ معدنی و یا دارای مواد سنتتیک هستند که به‌منظور محافظت از زنگ‌زدگی با مواد افزودنی لازم مخلوط می‌شوند. این روغن‌ها علاوه بر این افزودنی‌ها شامل مقدار کمی از افزودنی‌های ضدسایش نیز هستند. درجهٔ گرانروی روغن‌های R&O در آگما با یک عدد تک‌رقمی از صفر تا شش تعریف می‌شود که معادل روغن‌های ایزو از ۳۲ تا۳۲۰ است. روغن‌های دندهٔ R&O برای دنده‌هایی با اندازه‌ها و سرعت‌های متنوع در دمای ۱۵ تا ۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد کارآیی بسیار خوبی دارند.

۴-۲. روغن‌های مرکب

روغن‌های مرکب مخلوطی از روغن‌های پایهٔ معدنی با افزودنی ضد زنگ و اکسیداسیون، افزودنی‌های دی مولسی فایر جهت جدایی روغن از آب و ۳ تا ۱۰ درصد روغن‌های چرب یا روغن‌های چرب سنتتیک هستند. این روغن‌ها بیشتر در دنده‌های حلزونی و به‌منظور روانکاری مؤثرتر و جلوگیری از سایش لغزشی استفاده می‌شوند. دمای عملیاتی آنها حداکثر ۱۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد است. درجات این روغن‌ها در استاندارد آگما با اعداد تک‌رقمی و پسوند Comp از ۷ تا ۸ A تعریف می‌شوند و معادل استاندارد ایزو از ۴۶۰ تا ۱۰۰۰ می‌باشد.

۴-۳. روغن‌های EP

این روغن‌ها با پایهٔ معدنی دارای مواد سنتتیک و شامل افزودنی‌های چندمنظوره‌اند. این افزودنی‌ها شامل مواد ضد زنگ و اکسیداسیون، افزدونی‌های EP، دی مولسی فایرها، مواد ضد کف و در برخی موارد روانکارهای جامد با خاصیت معلق‌کنندگی کلوئیدها نظیر دی سولفید مولیبدن، برات یا گرافیت‌اند. افزودنی‌های EP شامل فسفر - گوگرد، برات‌ها و ترکیب گوگرد - فسفر و بور می‌باشند. مجموعهٔ این افزودنی‌ها یک لایهٔ محافظ شیمیایی جهت مقاومت در برابر جوش‌خوردگی، ساییدگی و خراشیدگی ناشی از شرایط روانکاری به‌هنگام روشن و خاموش‌کردن و بارهای ناگهانی ایجاد می‌کند. آگما این روغن‌ها را با یک عدد تک‌رقمی با پسوند EP از ۲ تا ۹ معادل با درجات ۶۸ تا ۱۵۰۰ ایزو می‌شناسد. روغن‌های EP برای دنده‌های با اندازه و سرعت‌های متنوع در محدودهٔ دمایی ۲۱ تا ۱۵۷ درجه دارای کارآیی مناسبی هستند.

۴-۴. روغن‌های سنتتیک

این روغن‌ها با روغن‌های دندهٔ پایهٔ معدنی - که با مواد سنتتیک مخلوط می‌شوند - متفاوت‌اند. روغن‌های سنتتیک در محدودهٔ وسیعی از دماهای عملیاتی پایدارند، شاخص گرانروی بالاتری دارند، در برابر اکسیداسیون مقاومت بیشتری دارند و از قدرت تحمل بار و روانکاری بهتری برخوردارند. هر سیال سنتتیک ویژگی‌های متفاوتی دارد و تعدادی از آنها محدودیت‌هایی چون عدم سازگاری با

الاستومرها، رنگ‌ها، واکنش در حضور رطوبت و قیمت بالا دارند. روغن‌های دنده سنتتیک می‌توانند شامل مواد ضد رنگ و خوردگی، افزودنی‌های EP، دی مولسی فایرها، مواد ضد کف و در برخی موارد روانکاری‌های جامد باشند. این روغن‌ها با اعداد تک‌رقمی آگما با پسوند s از ۰ تا ۹ مشخص می‌شوند و معادل با درجات ایزو ۳۲ تا ۱۵۰۰ می‌باشد.

۵. پایداری حرارتی و اکسیداسیونی روغن

تغییراتی که به‌منظور افزایش کارآیی جعبه‌دنده‌ها در طراحی صورت گرفته، به تولید دنده‌های کوچکتر که در سرعت‌ها، بارها و دماهای بالاتر کار می‌کنند، منجر شده و نهایتاً تنش دنده و یاتاقان به‌همین علت افزایش می‌یابد. نتیجهٔ این تغییر، فضای کمتر برای روغن بوده و به‌دنبال آن روغن کمتری برای خنک‌کردن دنده‌ها، یاتاقان‌ها و تعلیق آلودگی‌ها وجود دارد. علاوه بر تغییرات طراحی، دنده‌ها به‌دلیل ظرفیت تحمل بار نامناسب، ترازنبودن و تمیزی ناکافی، در معرض دماهای بیش از حد هستند. در نتیجه، روغن‌های دنده صنعتی در معرض تنش‌های حرارتی بالا هستند. این تنش‌های حرارتی می‌توانند سبب اکسیداسیون و شکست حرارتی روغن‌های دنده شوند. اکسیداسیون و شکست حرارتی روغن دنده به نوبهٔ خود سبب افزایش لزجت روغن، تولید اجزای اسیدی و تشکیل لجن وارنیش[۶] و کک روی دنده‌ها، یاتاقان‌ها و آب‌بندها می‌شود. تشکیل این رسوب‌ها می‌تواند منجر به افزایش درگ اصطکاکی، دمای عملیاتی و مصرف انرژی، کاهش بازده چرخ‌دنده و سایش زودهنگام و شدید دنده‌ها و یاتاقان‌ها شود. تجمع این مواد همچنین سبب خراشیدگی آب‌بندها و سخت‌شدن و شکنندگی زودهنگام آنها می‌شود که در نهایت عمر آب‌بند را کاهش و نشتی روغن را افزایش می‌دهد. لذا لازم است روغن دنده پایداری حرارتی داشته باشد و در برابر اکسیداسیون مقاومت کند.

۶. شاخص گرانروی[۷]

شاخص گرانروی عددی بی‌بعد و نشان‌دهندهٔ تغییرات گرانروی نسبت به دماست و به گرانروی روغن در یک دمای خاص مربوط نمی‌شود. مطابق استاندارد آگما، این عدد از جدولی قراردادی استخراج می‌شود. در این جدول به ازای هر عدد گرانروی در ۱۰۰ و ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، یک عدد نسبت داده شده است که این عدد با کاهش اختلاف لزجت در دو دمای ۱۰۰ و ۴۰ درجه افزایش می‌یابد. در واقع، وقتی شاخص گرانروی بالاست، بدان معناست که این روغن در هنگام گرم‌شدن گرانروی خود را کمتر از دست می‌دهد. دلیل این نوع امتیازدهی به طراحی سیستم‌ها بازمی‌گردد. از نظر طراحی مکانیکی قطعات، باید فاصله یا لقی بین قطعات متحرک با روانکار پر شود تا سایش به کمترین حد ممکن برسد. بنابراین روغنی که با افزایش دما گرانروی خود را از دست بدهد و اصطلاحاً خود را وِل کند، دیگر پرکنندهٔ فضای میان قطعات نخواهد بود. پس از نظر روانکاری چندان مناسب نیست و روغنی که با افزایش دما گرانروی خود را حفظ کند، قطعاً از نظر روانکاری بهتر است. حدود تقریبی این شاخص برای روغن‌های معمولی بین ۸۵ تا ۱۱۰ و برای روغن‌های چنددرجه‌ای بین ۱۲۰ تا ۱۶۰ و برای روغن‌های سینتتیک بالاتر از این مقادیر است.

۷. نتیجه‌گیری

در تمامی انواع چرخ‌دنده‌ها، سروصدا با سطوح گوناگون وجود دارد. دلیل بروز سروصدا نیز اشکالات طراحی یا خطاهای خواسته و ناخواستهٔ ساخت است. قاعدتاً حذف سروصدا به‌طور عام ممکن نیست، اما روش‌های متنوعی برای کاهش آن وجود دارد که از آن جمله ساختن پینیون از مواد غیرفلزی، دنده‌های چندمرحله‌ای، جلوگیری از بروز تشدید و هم‌صدایی و استفاده از یک روانکار مناسب توصیه می‌شود. روانکاری به‌عنوان علم تسهیل حرکت نسبی سطوح در تماس با یکدیگر تعریف شده است و پیشینهٔ آن به پیش از پیدایش چرخ و استفاده از گردش آن بدور محور،

به‌منظور ایجاد حرکت روان بازمی‌گردد. به‌طور کلی، هرجا که سطوح مجاور و در تماس با یکدیگر دارای حرکت نسبی هستند، روانکاری نقش بسیار مهمی در انجام حرکت به‌نحو صحیح، مداوم و اقتصادی ایفا می‌کند. عدم روانکاری صحیح چرخ‌دنده علاوه بر آنکه سبب تقلیل بازده مکانیکی می‌شود، منجر به فرسایش بیش از حد، فرسودگی و ازکارافتادگی زودرس نیز می‌گردد. در این مقاله انواع روانکارهای مورد نیاز برای چرخ‌دنده‌ها براساس استاندارد آگما معرفی شده است. همچنین مهم‌ترین شاخص‌های مفید این روانکارها که پایداری حرارتی و اکسیداسیونی روغن و همچنین گرانروی می‌باشد، ارائه و نحوهٔ تحلیل و احراز آنها براساس جداول استاندارد آگما ذکر شده است. باید توجه داشت که عملیات حرارتی نیز یکی از روش‌های مرسوم است که با توجه به گسترهٔ موضوع می‌بایست در حوزهٔ شناخت فلزات و مهندسی مواد مورد بررسی قرار گیرد؛ مبحثی که در این مقاله بدان پرداخته نشد.

۸. مآخذ

[1] Amini, N. “Gear Surface Machining for Noise Suppression”, Chalmers University of Technology, Doctoral Thesis, 1999.

[2] Campbell, B., W. Stokes, G. Steyer, M. Clapper, et al., "Gear Noise Reduction of an Automatic Transmission through Finite Element Dynamic Simulation," *SAE Technical Paper* 971966, 1997,

[3] Ariga, K., T. Abe, Y. Yokoyama, Y. Enomoto, "Reduction of Transaxle Gear Noise by Gear Train Modification," *SAE Technical Paper* 922108, 1992.

[۴] جمشیدی، کیمیا، وحید داود جلالی، داود ملک‌محمدی. "بررسی عددی روانکاری الاستوهیدرودینامیکی چرخ‌دنده ساده در حالت گذرا". پانزدهمین کنفرانس سالانهٔ مهندسی مکانیک، ۱۳۸۵.

[۵] ملک‌محمدی، وحید داود جلالی. "بررسی عددی روانکاری الاستوهیدرودینامیکی چرخ‌دندهٔ ساده در حالت گذرا در دماهای مختلف". شانزدهمین کنفرانس سالانهٔ مهندسی مکانیک، ۱۳۸۷.

[۶] وکیلی تهامی، فرید، اکبر رسولیان، نگین موسوی، مهسا عسگری ثابت. "بررسی عوامل مؤثر در روانکاری الاستوهیدرودینامیک و تأثیرات آن بر واماندگی سطحی چرخ‌دنده‌های ساده و مارپیچ براساس استاندارد AGMA 925-A03". یازدهمین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید ایران، ۱۳۸۹.

[۷] شاملو، شهره. "طراحی، محاسبه و اندازه‌گیری چرخ‌دنده‌ها" پروژهٔ کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی قم، ۱۳۹۳.

پی‌نوشت

1. elastic
2. damping
3. noise cancellation
4. ضرب‌آهنگ به‌معنی توالی ضربه‌های آهنگ است که برای موزون‌کردن نوای موسیقی به‌کار می‌رود. به‌عبارت دیگر، تکرار پی‌درپی یک حرکت پایدار در زمان مشخص را در موسیقی ضرب‌آهنگ می‌نامند.
5. American Gear Manufacturers Association (AGMA), http://www.agma.org (accessed August 21, 2014).
6. Varnish or lacquer
7. viscosity index