به نام خدا

جزوه درس تکنولوژی انتقال قدرت

مقطع کاردانی
رشته مکانیک خودرو

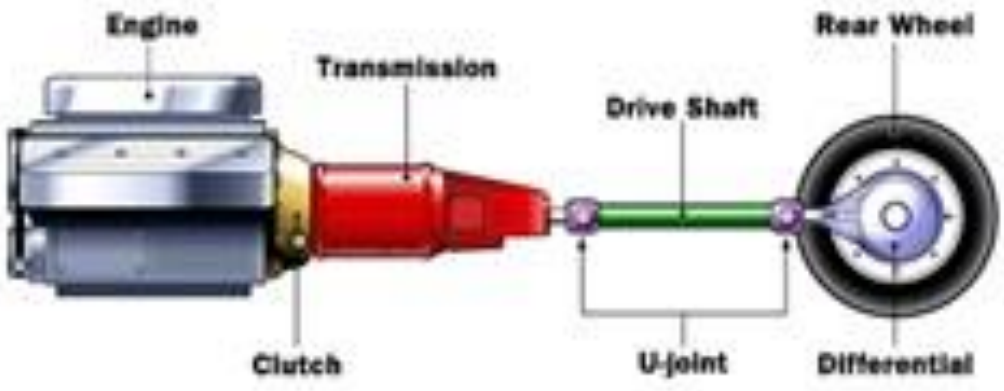
مدرس: مهدی فخارزاده نایینی

وظایف سیستم انتقال قدرت (Power Transmission Duties)

وظیفه سیستم انتقال قدرت، انتقال دادن قدرت تولید شده توسط موتور به چرخها می باشد. لازم است که این سیستم توانایی تبدیل دور و تغییر جهت های مورد نیاز را داشته باشد. همچنین در مواقع مشخصی امکان قطع و وصل نمودن مسیر انتقال قدرت را فراهم نماید. از سوی دیگر هماهنگ نمودن سرعت چرخها در هنگام گردش خودرو بر عهده این سیستم می باشد. در مجموع می توان به عنوان بهترین وظایف سیستم انتقال قدرت خودرو، به موارد زیر اشاره کرد:

۱. انتقال گشتاور خروجی موتور به چرخها
۲. تغییر و تبدیل دور و گشتاور
۳. قطع و وصل نمودن مسیر انتقال قدرت بین موتور و چرخها
۴. گرفتن شوک ها و ضربات وارده و منتقل نمودن قدرت به آرامی
۵. تغییر جهت دادن مسیر قدرت
۶. هماهنگ نمودن سرعت گردش چرخها در هنگام گردش خودرو
۷. معکوس نمودن دور موتور در وضعیت دنده عقب

معمولا یک سیستم انتقال قدرت شامل؛ کلاچ، گیربکس، گاردان، دیفرانسیل و پلوس می باشد.



۱. **کلاچ :** وسیله ای است که در بین موتور و گیربکس قرار گرفته و امکان قطع و وصل نمودن مسیر انتقال قدرت را فراهم می آورد. همچنین با توجه به اینکه انتقال گشتاور درون کلاچ به صورت اصطکاکی می باشد، می تواند در هنگام وارد شدن شوک به یکی از اجزاء سیستم قدرت خودرو، دچار کمی لغزش شده و گشتاور را به آرامی منتقل نماید.

۲. **گیربکس :** وظیفه تغییر دور و گشتاور را بر عهده دارد. به طوریکه در وضعیت دنده های سنگین با کاهش سرعت و دور، باعث افزایش گشتاور و قدرت می گردد و برعکس در دنده های سبک، سرعت و دور خروجی گیربکس افزایش می یابد.

۳. **گاردان** : یک شفت که توانایی انتقال گشتاور پیچشی را دارد. در مواقعی که بین گیربکس و دیفرانسیل فاصله وجود دارد، گاردان به عنوان ارتباط دهنده بین آنها خواهد بود.

۴. **دیفرانسیل** : به عنوان یکی از قطعات اصلی سیستم انتقال قدرت محسوب می شود.

۵. **پلوس** : شفت انتقال دهنده گشتاور پیچشی از دیفرانسیل به چرخ است، که درون پوسته ی اکسل قرار می گیرد.

کلاچ (Clutch)

اولین قطعه ای که در مسیر انتقال قدرت قرار می گیرد، کلاچ است. این قطعه بین موتور و گیربکس قرار گرفته و وظیفه قطع و وصل نمودن ارتباط موتور با گیربکس را برعهده دارد. دلیل وجود کلاچ، جلوگیری از اعمال شوک به چرخدنده های گیربکس می باشد. زیرا در لحظهٔ تعویض دنده، نسبت دنده به صورت ناگهانی تغییر کرده و باعث ایجاد شوک می شود.

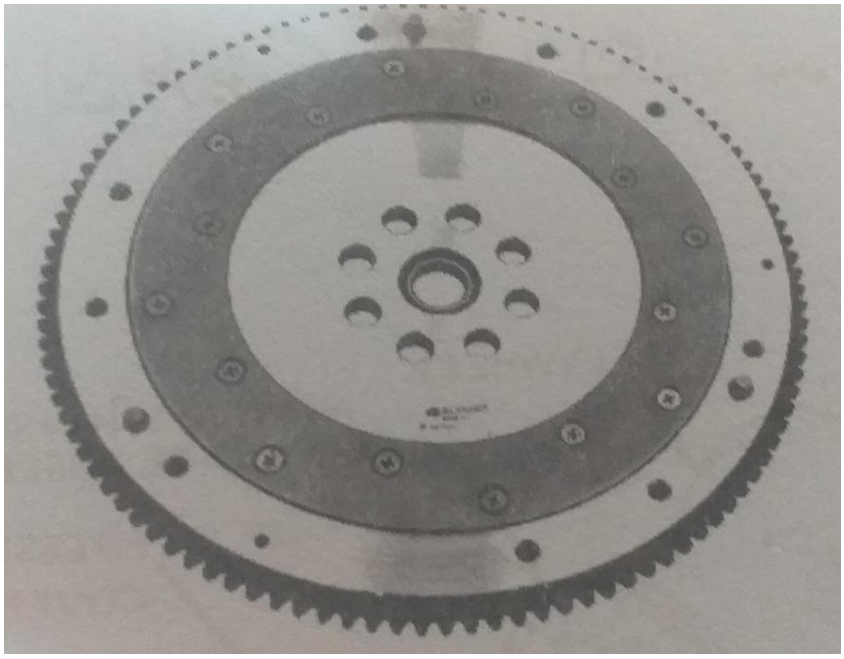
به منظور جلوگیری از ایجاد شوک در درگیری چرخدنده هاف لازم است که ابتدا با فشردن پدال کلاچ، ارتباط بین موتور و محور ورودی گیربکس قطع گردد تا هنگام تعویض دنده محور ورودی گیربکس آزاد باشد و به راحتی بتواند سرعت خود را با سرعت محور خروجی گیربکس هماهنگ نماید.

خصوصیات کلاچ

۱. مکانیزم کلاچ به گونه ای باشد که بتواند عمل قطع و وصل مسیر انتقال قدرت را به سرعت انجام دهد.
۲. پس از درگیر شدن و برقراری ارتباط، بتواند گشتاور موتور را بدون لغزش و افت راندمان منتقل نماید.
۳. از لحاظ دینامیکی کاملا بالانس باشد و در هنگام دوران لرزش نداشته باشد.
۴. دارای عمر کاری مناسبی بوده و در صورت نیاز به تعمیر یا تعویض قطعات، این کار به راحتی امکان پذیر باشد.

اجزاء کلاچ

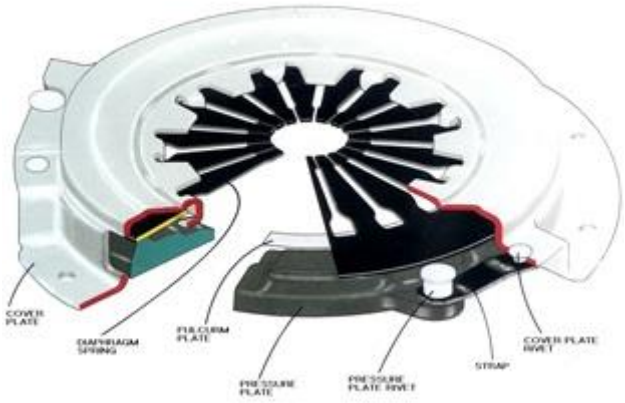
۱. **فلایویل** : یک دیسک دوار توپر می باشد که در انتهای میل لنگ نصب می گردد. وظیفه آن جذب ارتعاشات و نوسانات میل لنگ و تأمین انرژی جنبشی لازم به منظور ادامه دوران میل لنگ می باشد. با توجه به اینکه فلایویل به صورت توپر و سنگین می باشد، بعد از به گردش درآمدن، می تواند انرژی جنبشی قابل توجهی را در خود ذخیره نماید. زیرا می دانید که هرچه وزن یک جسم بیشتر و سنگین تر باشد، دارای اینرسی بیشتری نیز می باشد و منظور از اینرسی، تمایل جسم به حفظ وضعیت است. یعنی اگر در حال سکون است، تمایل به سکون و اگر در حال حرکت است، تمایل به حفظ سرعت و حرکت خود دارد.



از سوی دیگر می دانید که قدرت فقط در مرحلهٔ احتراق، درون سیلندرها تولید می گردد و در مراحل مکش، تراکم و تخلیه، هیچ گونه قدرتی تولید نمی شود، بنابراین وجود اینرسی در فلایویل، باعث ذخیره انرژی جنبشی مورد نیاز برای گردش میل لنگ در هنگام مکش، تراکم و تخلیه می شود.

معمولا برای ساخت فلایویل، از چدن خاکستری استفاده می شود. در ضمن یک رینگ دنده دار بصورت پرس دور آن نصب می گردد که به آن دنده استارت گفته می شود. در هنگام راه اندازی موتور، قدرت تولید شده توسط استارت، از طریق چرخدنده استارت به همین دنده ها منتقل گردیده و باعث به گردش درآمدن فلایویل و میل لنگ می شود.

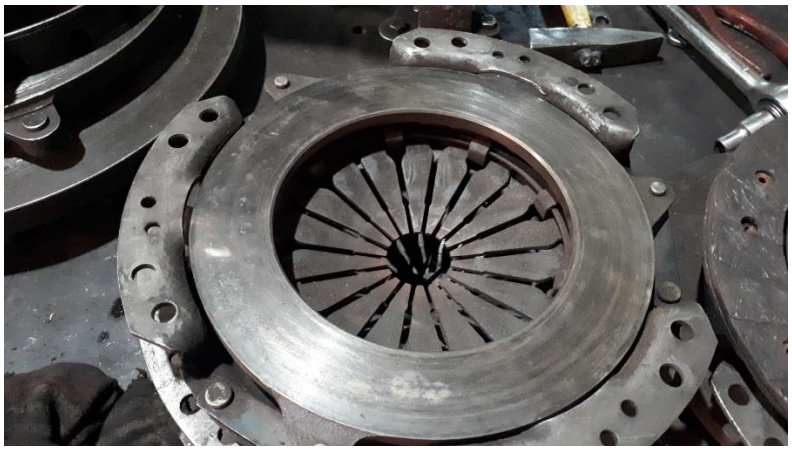
۲. **پوسته کلاچ (Clutch Cover)** : قطعه ای است که توسط پیچ به فلایویل بسته می شود و سایر قطعات مجموعه کلاچ، همچون دیسک کلاچ، فنر کلاچ و صفحه کلاچ درون آن قرار می گیرند و در هنگام گردش فلایویل، پوسته کلاچ نیز به همراه آن به دوران درمی آید.



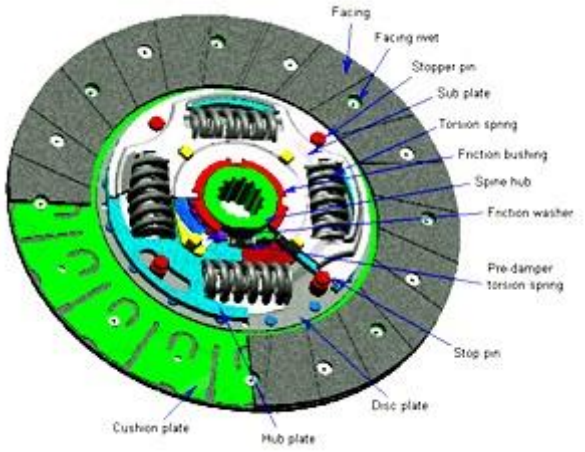
۳. **فنر کلاچ (Clutch spring)** : فنر کلاچ بر روی پوسته کلاچ قرار می گیرد. وظیفهٔ آن فشرده کردن دیسک کلاچ بر روی صفحه کلاچ می باشد. از این طریق می توان باعث تماس اصطکاکی دیسک و صفحه کلاچ گردیده و امکان انتقال گشتاور بین آن دو را فراهم نمود.

۴. **دیسک کلاچ** : دیسک کلاچ قطعه ای حلقوی می باشد که بر روی فنر کلاچ قرار گرفته و از طریق تماس اصطکاکی به صفحه کلاچ، باعث انتقال گشتاور به صفحه کلاچ می شود.

لازم است که دیسک کلاچ توسط خار و یا زبانه بر روی پوسته کلاچ تثبیت گردد و در هنگام گردش میل لنگ موتور، به همراه فلایویل پوسته کلاچ و فنر کلاچ به گردش درآید و با آنها هم سرعت باشد.



۵. **صفحه کلاچ :** دیسک دواری است که در مقابل دیسک کلاچ، قرار گرفته و با ان تماس اصطکاکی برقرار می نماید. از آنجایی که صفحه کلاچ بر روی شفت ورودی گیربکس نصب گردیده است، در صورت فشرده سازی دیسک کلاچ بر روی آن، امکان انتقال گشتاور از موتور به گیربکس فراهم می شود.

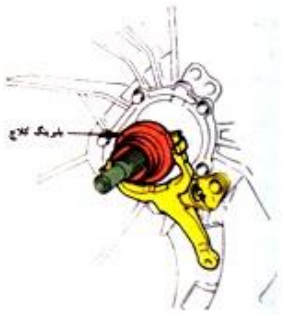


ولی در هنگامی که پدال کلاچ فشرده می شود، دیسک از صفحه کلاچ جدا گردیده و این ارتباط قطع می شود. لنتهای کلاچ که وظیفه برقراری تماس اصطکاکی با دیسک کلاچ را بر عهده دارند، در محیط صفحه کلاچ نصب گردیده اند. لنت های کلاچ معمولا بر روی فنرهای بالشتکی (فنرهایی که موج دارد) پرچ می شوند، تا در هنگام درگیر شدن کلاچ، فشار وارد بر آن ها به تدریج افزایش یابد. این فنرهای بالشتکی قابلیت جذب ضربات و نیروهای محوری را دارند. هم چنین به منظور خنک کاری بهتر لنتها و جلوگیری از داغ شدن آنها لازم است که سطح لنتها به صورت شیاردار ساخته شود. این موضوع باعث جدایش آسان صفحه کلاچ نیز می گردد. در ضمن در نظر داشته باشید که لنتهای کلاچ در هر دو سمت صفحه کلاچ نصب می گردند، به طوریکه یک سمت با دیسک کلاچ و سمت دیگر با فلایویل درگیر می باشد.

در گذشته برای تهیه لنت کلاچ بیشتر از جنس آزبست استفاده می شد، ولی امروزه استفاده از مواد سرامیکی و کاغذی جایگزین شده است.

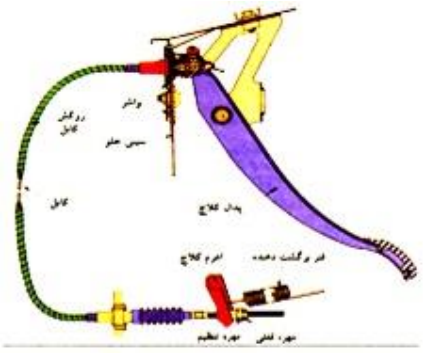
همچنین در بدنه صفحه کلاچ، چندین فنر مارپیچ وجود دارد، که به منظور جذب و خنثی نمودن گشتاورهای پیچشی تعبیه شده است.

۶. **بلبرینگ کلاچ (زغال کلاچ) (Clutch Release Bearing)** : بلبرینگ کلاچ بر روی غلافی حول شفت و بر روی گیربکس قرار می گیرد. وظیفهٔ آن فشرده کردن تیغه های فنر کلاچ می باشد.



۷. **دو شاخه کلاچ (Clutch Release Bearikg Fork)** : دو شاخ کلاچ قطعه ای است که بر روی بلبرینگ کلاچ قرار گرفته و آن را به حرکت درمی آورد.

۸. **مکانیزم اهرم بندی کلاچ (Clutch Linkage)** : نیرویی که توسط راننده به پدال کلاچ وارد می شود، لازم است که توسط یک مکانیزم اهرم بندی به دو شاخ کلاچ اعمال گردد تا دو شاخ کلاچ بتواند با به حرکت درآوردن بلبرینگ کلاچ، فنر کلاچ را فشرده ساخته و دیسک کلاچ را از صفحه کلاچ جدا نماید. این مکانیزم ممکن است از تعدادی اهرم تشکیل یافته باشد و یا اینکه از یک مفتول سیمی که به صورت کششی عمل می نماید، استفاده شود.



فشار وارد بر صفحهٔ کلاچ

فشار از تقسیم نیرو به سطح مقطع به دست می آید. یعنی فشار وارد بر صفحه کلاچ عبارت است از:

$$P_C = \frac{F_C}{A}$$

که در آن P_C فشار وارد بر صفحه کلاچ، A سطح مقطع مؤثر صفحه کلاچ و F_C نیروی وارد بر صفحه کلاچ می باشد. از سوی دیگر می دانیم که لنت کلاچ بصورت یک حلقه بر روی صفحه کلاچ نصب می شود.

بطوریکه اگر قطر بزرگ این حلقه D و قطر کوچک آن d باشد، سطح مقطع مؤثر لنت کلاچ از رابطه زیر به دست می آید:

$$A = \frac{1}{4}(D^2 - d^2)\pi$$

در ضمن اگر قطر متوسط لنت را d_m ($d_m = \frac{D+d}{2}$) و پهنای لنت را با b نمایش دهیم، سطح مقطع مؤثر لنت کلاچ را از رابطه زیر هم می توان محاسبه نمود:

$$A = d_m \,.\, \pi \,.\, b$$

در صورت جایگزینی مقدار سطح مقطع مؤثر در فرمول فشار وارده خواهیم داشت:

$$F_C = P_C \times \frac{1}{4}(D^2 - d^2)\pi = P_C \,.\, d_m \,.\, \pi \,.\, b$$

این رابطه بیانگر نیروی وارد بر صفحه کلاچ می باشد.

مسأله (۱) در یک کلاچ قطر متوسط لنت ۱۶۰mm، قطر بزرگ آن ۲۰۰mm و فشار وارد بر سطح لنت در حدود (۲bar) می باشد. در این حالت نیروی وارد بر صفحه کلاچ را محاسبه نمایید.

اطلاعات مسأله:

$$d = 160mm = 0.16m$$
$$D = 200mm = 0.2m$$
$$P_C = 2bar = 2 \times 10^5 Pa$$
$$b = D - d_m = 0.2 - 0.16 = 0.04m$$

$$\Rightarrow F_C = P_C . d_m . \pi . b = 2 \times 10^5 \times 0.16 \times 3.14 \times 0.04 = 0.04 \times 10^5 N$$

$$\Rightarrow F_C = 4KN$$

نیروی اصطکاک کلاچ (Fraction Force Of Clutch)

تماس صفحه کلاچ با دیسک کلاچ از نوع اصطکاکی می باشد، بطوریکه اگر نیروی وارد بر صفحه کلاچ را با F_C ، ضریب اصطکاک بین سطوح درگیر با هم را بوسیله μ و تعداد صفحه کلاچ را با k نشان دهیم، مقدار نیروی اصطکاک کلاچ از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_f = 2\mathrm{k} \, . F_C \, . \mu$$

مسأله (۲) در یک کلاچ دو صفحه ای که قطر متوسط لنت آن ۱۷۵mm و عرض لنت آن ۵۲mm است، اگر فشار وارد بر لنت ها $۱۴\frac{N}{cm^2}$ و ضریب اصطکاک ۰/۶۵mm باشد، نیروی اصطکاک کلاچ چقدر است؟

اطلاعات مسأله:

$$d_m = 0.175m$$

$$b = 0.052m$$

$$P_C = 14\ \frac{N}{cm^2} = 14 \times 10^4 \frac{N}{m^2}$$

$$\mu = 0.65$$

$$P_C = \frac{F_C}{A} \rightarrow \begin{cases} F_C = P_C \,.\, A \\ b = D - d_m = 52mm = 0.052m \quad \text{و} \quad d_m = \frac{D+d}{2} \\ A = \frac{1}{4}\,(D^2 - d^2)\pi = \left(\frac{D-d}{2}\right).\left(\frac{D+d}{2}\right)\pi \end{cases}$$

$\frac{b}{2} + \frac{b}{2} = \frac{2b+D+d-2d}{4} = \frac{b+d_m-d}{2}$ و یا $b = D - d_m = D - \frac{D}{2} - \frac{d}{2} = \frac{D-d}{2}$

$\rightarrow\ A = \pi b d_m$

$F_C = 14 \times 10^4 \times \pi\ \times 0.052 \times 0.175 = 400N$ $F_C = P_C \,.\, \pi b d_m$

$F_C = 400$ نیروی اصطکاک کلاچ

$F_f = 2k.\mu.F_C = 2 \times 2 \times 4000 \times 0.65 = 10400N$

گشتاور اصطکاکی کلاچ

از حاصل ضرب نیروی اصطکاکی کلاچ F_f ، در شعاع متوسط لنت کلاچ R_m : $M_f = F_f \,.\, R_m$

مسأله (۳) در یک کلاچ تک صفحه ای که قطر داخلی ان ۱۷cm و قطر خارجی آن ۲۳cm است، اگر فشار وارده توسط دیسک کلاچ ۲۵۰۰Pa و ضریب اصطکاک نسبت ۰/۷۵ باشد، مقدار گشتاور اصطکاکی کلاچ را محاسبه نمایید.

$$P_C = \frac{F_C}{A} \rightarrow F_C = P_C \,.\, A = 2500 \times \frac{1}{4}((0.23)^2 - (0.17)^2)\pi = 47.1\ N$$

$$F_f = 2k \,.\, \mu \,.\, F_C = 70.65\ N \rightarrow \begin{cases} M_f = F_f \,.\, R_m \\ F_f = 70.65 \\ d_m = \frac{D+d}{2} = 0.2 \ \rightarrow R_m = 0.1 \end{cases}$$

$$\rightarrow M_f = 70.65 \times 0.1 = 7.065$$

بکسواد کلاچ (Clutch Slipping)

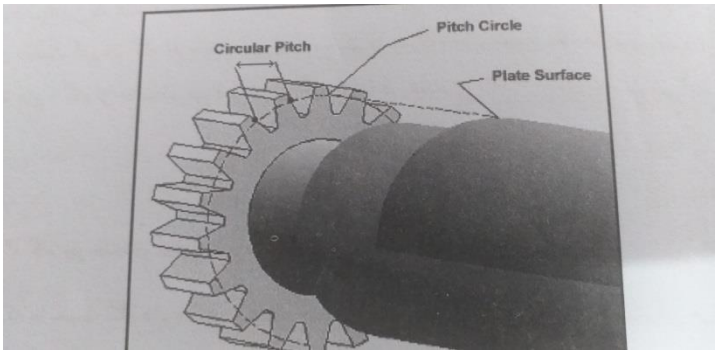
به پدیده لغزش صفحه کلاچ در بین فلایویل و دیسک کلاچ، بکسواد کلاچ گفته می شود. در این حالت با وجود اینکه پدال کلاچ فشرده شده است، امکان انتقال گشتاور در بین صفحه کلاچ و دیسک کلاچ وجود ندارد و باعث اتلاف انرژی دورانی در اثر لغزش می گردد. این ایراد در حال شتاب گیری سریع و یا در حال حرکت در یک سر بالایی، خود را نشان می دهد. در این وضعیت اثر لغزش صفحه کلاچ و داغ شدن آن و احساس بوی سوختگی لنتهای کلاچ امکان پذیر است. علت لغزش صفحه کلاچ همچنین می تواند ناشی از ساییدگی بیش از حد لنت صفحه کلاچ و چرب شدن سطح آن باشد. معمولا علت روغنی شدن کلاچ، وجود نشتی در کاسه نمد انتهای میل لنگ می باشد.

گاهی اوقات نیز ضعیف شدن و یا شکستن فنر کلاچ و یا تنظیم نبودن مکانیزم اهرم بندی کلاچ می تواند عامل ایجاد بکسواد کلاچ باشد.

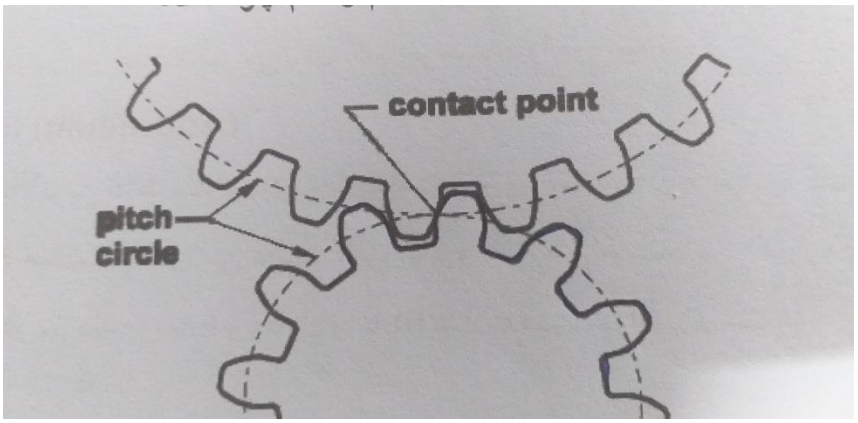
مشخصات فنی چرخدنده ها (Gear Technical specifications)

دایره گام (Pitch Circle)

دایرۀ گام یک دایرۀ فرضی است که تقریبا از میان ارتفاع دنده ها عبور نموده و مبنای کلیه محاسبات چرخدنده می باشد. برای ایجاد یک درگیری مناسب بین دو چرخدنده، لازم است که دایرۀ گام این دو چرخدنده با یکدیگر مماس باشد.



دایره گام و گام چرخدنده



دایره گام دو چرخدنده درگیر با هم

مدول

به نسبت قطر دایرهٔ گام به تعداد دندانه های چرخدنده، مدول گفته می شود.

$$m = \frac{d}{N}$$

نکته: مدول دو چرخدنده درگیر با هم یکسان و برابر است.

گام چرخدنده

به فاصله بین دو نقطه مشابه در دو دنده متوالی که بر روی دایرهٔ گام اندازه گیری می شود، گام چرخدنده گفته می شود.

$$P = \frac{\pi d}{N}$$

گام چرخدنده از حاصل ضرب مدول در عدد π نیز بدست می آید:

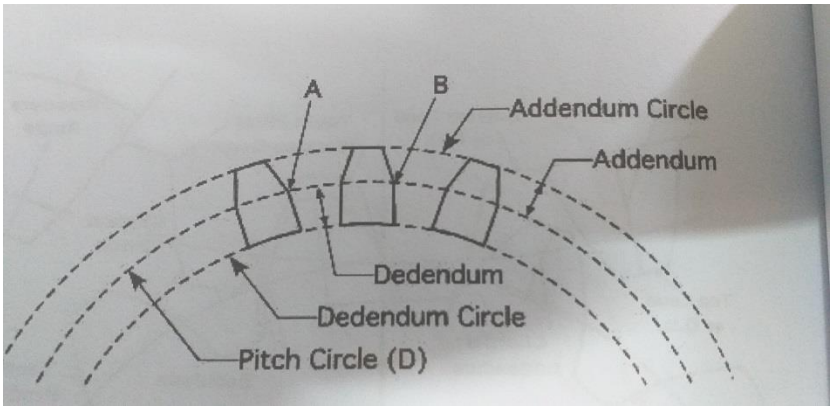
$$P = \pi m$$

اندازهٔ سر دنده

به دایره ای که از بالاترین نقاط دندانه های چرخدنده عبور می نماید، دایرهٔ سر دنده گفته می شود.

اندازهٔ سر دنده، همان فاصلهٔ بین دایرهٔ گام و دایرهٔ سر دنده است. این مقدار دقیقا برابر مدول است.

$$a = m$$



اندازه سر دنده و پای دنده

اندازۀ پای دنده

به دایره ای که از پایین ترین نقاط دندانه ها (پیچ دنده ها) عبور می کند، دایرۀ پای دنده گفته می شود.

اندازۀ پای دنده، همان فاصلۀ بین دایرۀ گام و دایرۀ پای دنده می باشد. $b = 1.25\ m$

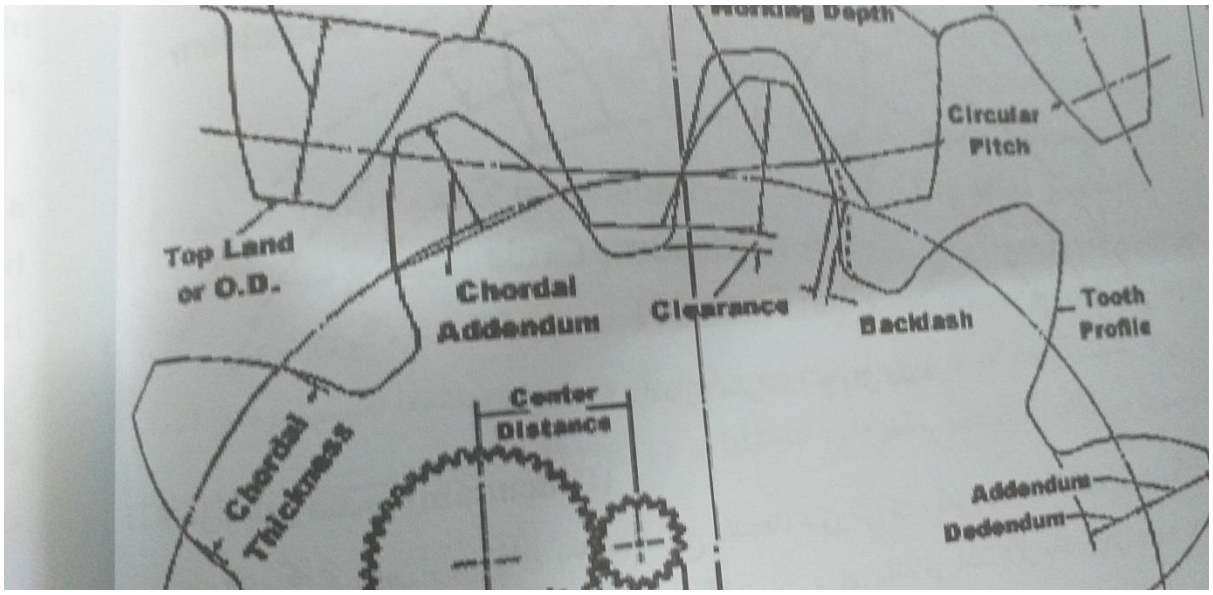
لقی دنده ها

در هنگام درگیری دو چرخدنده با یکدیگر، به فاصلۀ دایره پای دنده یک چرخدنده تا دایرۀ سر دنده چرخدنده دیگر، لقی گفته می شود،که برابر است با: $C = 0.250\ m$

ارتفاع کل دنده

به مجموع مقدار سر دنده و پای دنده، ارتفاع کل دنده گفته می شود. بنابراین اگر ارتفاع کل دنده را با h نمایش دهیم، خواهیم داشت:

$$h = a + b \ \rightarrow h = 2.25\ m$$



تعریف سایر پرامترهای چرخدنده

مسأله (۱) یک چرخدنده، قطر دایرهٔ گام ۶۰ میلی متر دارای ۴۰ عدد دندانه می باشد. این چرخدنده با چرخدنده دیگری که دارای ۵۰ عدد دندانه می باشد، درگیر است. قطر مناسب برای دایره گام چرخدنده دوم چقدر است؟

$$m_1 = \frac{d_1}{N_1} \rightarrow \frac{60}{40} = 1.5$$

$$m_1 + m_2 = \frac{d_2}{N_2} \rightarrow 1.5 = \frac{d_2}{50} \rightarrow d_2 = 75\ mm$$

در درگیری دو چرخدنده مدولها با هم برابر است.

مسأله (۲) چرخدنده ای با قطر دایرهٔ گام ۲۴ میلی متر و ۱۲ عدد دندانه با چرخدنده دیگری درگیر می باشد. مقادیر مدول، گام چرخدنده، ارتفاع سر دنده، ارتفاع ته دنده، ارتفاع کل این چرخدنده و لقی را محاسبه نمایید.

$P = \frac{\pi d}{N} = 2\pi$ و مدول $m = \frac{d}{N} = \frac{24}{12} = 2$

ارتفاع ته دنده $b = 1.25\ m = 1.25 \times 2 = 2.5\ mm$ و ارتفاع سر دنده $a = m = 2mm$

ارتفاع کل دنده $= 2 + 2.5 = 4.5\ mm$ و لقی چرخدنده $= 0.25\ m = 0.25 \times 2 = 0.5\ mm$

مسأله (۳) یک چرخدنده ۱۸ دندانه ای، چرخدنده دیگری را که دارای ۱۲ دندانه است را به حرکت درمی آورد. اگر مدول این دو چرخدنده ۸ باشد، قطر دایرهٔ گام این دو چرخدنده چقدر است؟

$$m_1 = \frac{d_1}{N_1} \rightarrow \ d_1 = 8 \times 18 = 144\ mm$$

$$m_2 = \frac{d_2}{N_2} \rightarrow \ d_2 = 96\ mm$$

روش های ساخت چرخدنده (Gear Manufacturing)

برای تولید چرخدنده روش های گوناگونی وجود دارد که در ذیل به آنها می پردازیم. جهت بهبود خواص مکانیکی پس از تولید چرخدنده بر روی آن عملیات حرارتی انجام می دهند. چرا که لازم است مغز دنده ها نرم و سطح آن ها سخت و ضد سایش باشد زیرا اگر مغز دنده نیز سخت و ترد شود، امکان شکست آن در زیر بارهای دینامیکی و ضربات وجود خواهد داشت. در نهایت پس از تولید چرخدنده و انجام عملیات حرارتی، لازم است که سطح دنده ها صیقل کاری (Burrishing) و سنگ زنی (Grinding) گردد.

روش های تولید چرخدنده ها :

۱. ریخته گری (Casting)
۲. متالورژی پودر (Powder Metallurgy)
۳. فرزکاری (Milling)
۴. چرخ فلز حلزونی (Hobbing)
۵. صفحه تراش (Shoping)
۶. نورد سرد (Cold Rolling)

سرعت چرخدنده

در صورتیکه قطر دایرهٔ گام دو چرخدنده درگیر با هم متفاوت باشد، سرعت زاویه ای آنها نیز با هم متفاوت خواهد بود ولی از آنجاییکه دنده چرخدنده های درگیر با هم مجبور هستند که همراه با یکدیگر حرکت نمایند، همواره سرعت خطی آنها با هم برابر است.

رابطهٔ سرعت خطی با سرعت زاویه ای

$$\begin{cases} V_1 = R_1 \,.\, W_1 \\ V_2 = R_2 \,.\, W_2 \end{cases}$$

دو چرخدنده درگیر با هم سرعت خطی آنها با هم مساوی است $\rightarrow R_1 \,.\, W_1 = R_2 \,.\, W_2 \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{W_2}{W_1}$

سرعت زاویه ای چرخدنده ها با شعاع دایرهٔ گام آنها نسبت عکس دارد و هر چقدر شعاع دایرهٔ گام بیشتر باشد، سرعت زاویه ای آن کمتر خواهد بود. این فرمول را گاهی دیگر بر حسب تعداد گردش چرخدنده ها (n_1 n_2) بر حسب دور بر دقیقه Rpm به شکل زیر بیان می کند:

$$R_1 n_1 = R_2 n_2 \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

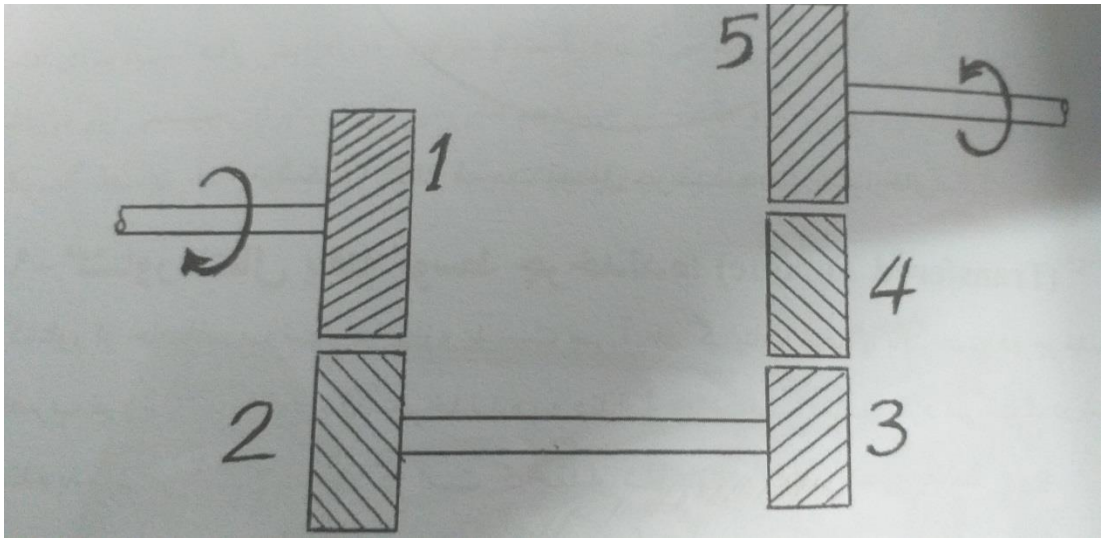
نسبت تبدیل چرخدنده ها

وظیفه چرخدنده ها تبدیل قدرت و سرعت است به طوریکه هرگاه مقدار قدرت افزایش یابد، سرعت کاهش پیدا می کند و برعکس با کاهش قدرت، سرعت افزایش می یابد. مقدار این نسبت را می توان با فرمول زیر محاسبه کرد.

$$i = \frac{W_1}{W_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

در حالیکه چندین چرخدنده با هم سری شوند، می توان به ازاء هر دو چرخدنده درگیر با هم یک نسبت دور ورودی به خروجی نوشت و همهٔ آنها را در هم ضرب کرد تا نسبت تبدیل کلی بدست آید:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{n_3}{n_4} \times \frac{n_4}{n_5}$$



یا بر اساس نسبت تعداد چرخدنده های خروجی به تعداد دندانه های ورودی می توان نوشت:

$$i = \frac{N_5}{N_4} \times \frac{N_4}{N_3} \times \frac{N_2}{N_1}$$

مسأله (۴) اگر تعداد چرخدنده محور ورودی جعبه دنده ۱۸ و چرخدنده درگیر با آن که روی محور همیشه گرد است ۲۵ دنده و دنده سه زیر ۱۵ دنده و دنده ۳ بالا ۱۳ دندانه داشته باشد، نسبت تبدیل چرخدنده در وضعیت دنده ۳ چقدر است؟

$$i = \frac{N_4}{N_3} \times \frac{N_2}{N_1} = \frac{12}{15} \times \frac{25}{18} = 1.11$$

مسأله (۵) در دو چرخدنده درگیر با هم که شعاع دایرهٔ گام آنها به ترتیب ۲۵cm و ۱۵cm است اگر سرعت چرخدنده اول ۵۰Rpm باشد، سرعت چرخدنده دوم چقدر است؟

$$R_1 n_1 = R_2 n_2 \;\rightarrow\; 25 \times 50 = 15 \times n_2 \;\rightarrow\; n_2 = \frac{250}{3} = 83.3 \text{ Rpm}$$

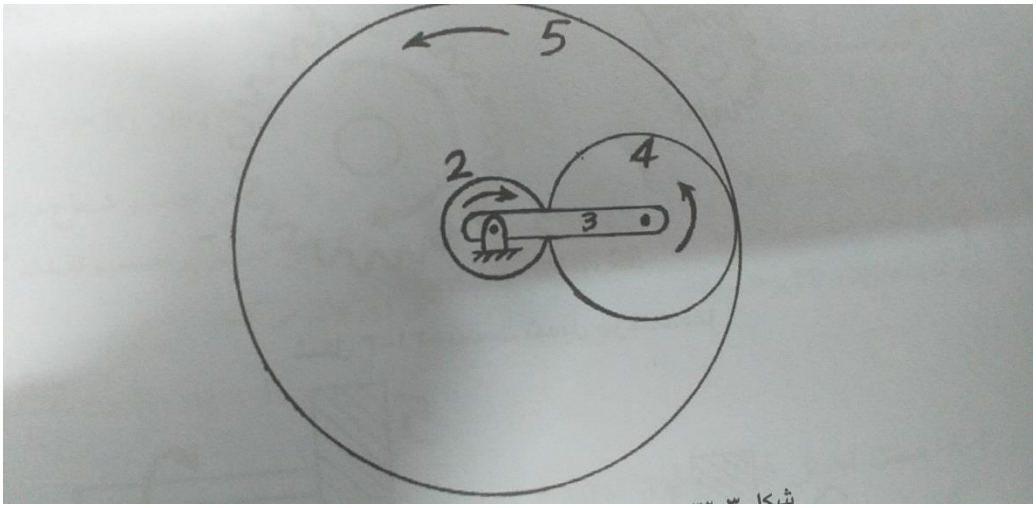
در حالی که چندین چرخدنده با یکدیگر درگیر هستند، می توان به ازای هر دو چرخدنده درگیر با هم، یک نسبت دور خروجی به دور ورودی نوشت و همهٔ این نسبت ها را در یکدیگر ضرب نمود تا نسبت تبدیل کلی به دست آید.

نسبت تبدیل بر حسب دور: $i = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{n_3}{n_4} \times \frac{n_4}{n_5}$

نسبت تبدیل بر حسب تعداد دندانه: $i = \frac{N_2}{N_1} \times \frac{N_4}{N_3} \times \frac{N_5}{N_4}$

برای محاسبه هر نسبت دنده در چرخدنده های سیاره ای، از فرمول زیر استفاده می کنیم:

$$i = \frac{n_A - n_B}{n_C - n_B}$$



که در آن:

n_A : سرعت گردش چرخدنده ورودی بر حسب Rpm

n_B : سرعت گردش بازو بر حسب Rpm

n_C : سرعت گردش چرخدنده خروجی بر حسب Rpm

$$i = \frac{n_2 - n_3}{n_5 - n_3}$$

گیربکس

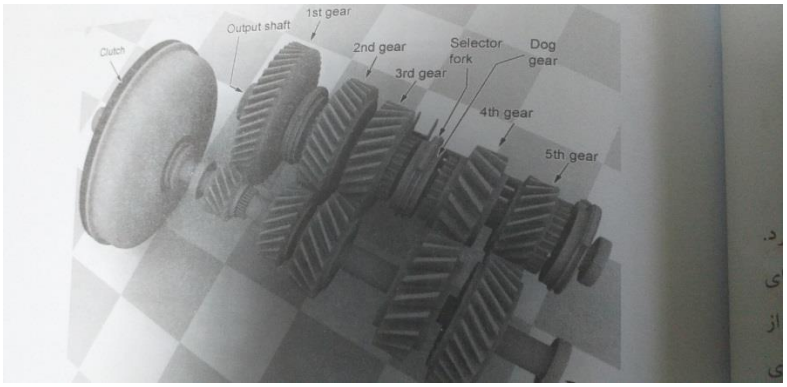
سیستمی که متناسب با شرایط حرکت خودرو، مقدار قدرت و سرعت را افزایش و یا کاهش می‌دهد.

انواع گیربکس

1 .مرحله ای ۲. اتومات

گیربکس معمولی

معمولاً درون گیربکس سه محور وجود دارد. یکی از آنها محور ورودی(Input shaft) می باشد.که از طریق کلاچ به موتور متصل گردیده و در صورت برقراری تماس بین دیسک و صفحه، گشتاور را از میل لنگ به شفت ورودی متصل می کند و محور خروجی (output shaft) گشتاور خروجی گیربکس را به دیفرانسیل متصل میکند و در خودروهایی که از گاردان استفاده می شود یک محور سوم به عنوان محور واسطه (lay shaft) نیز وجود دارد.



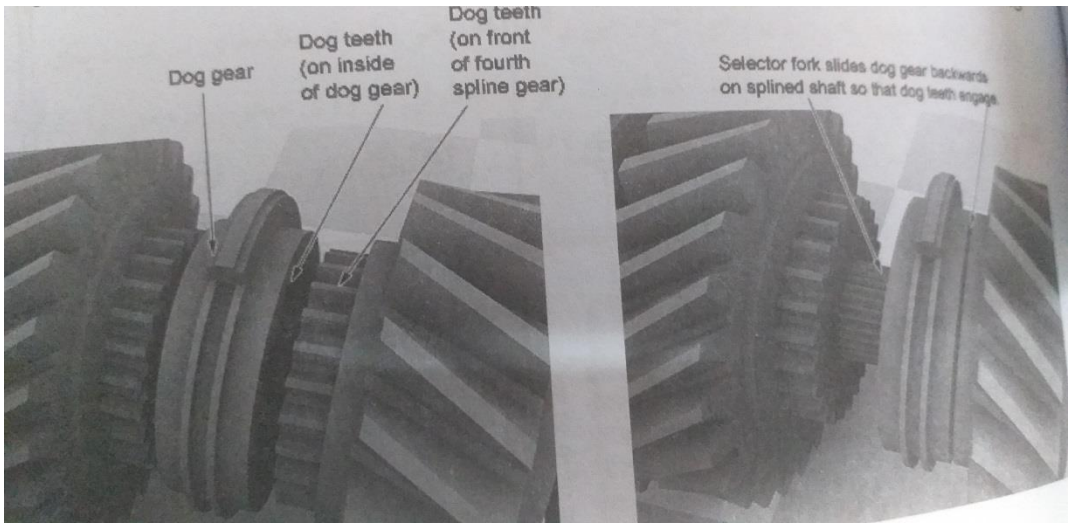
به ازاء هر نسبت تبدیلی که در گیربکس تعبیه شده است، یک جفت چرخدنده با هم درگیر هستند که یکی از آنها بر روی محور خود تثبیت شده و دیگری به صورت هرزگرد بر روی محور خود گردش می کند. تثبیت دنده سرعت هرزگرد بر روی محور خود توسط کشوئی (collar) انجام می گردد. با قفل شدن کشویی و

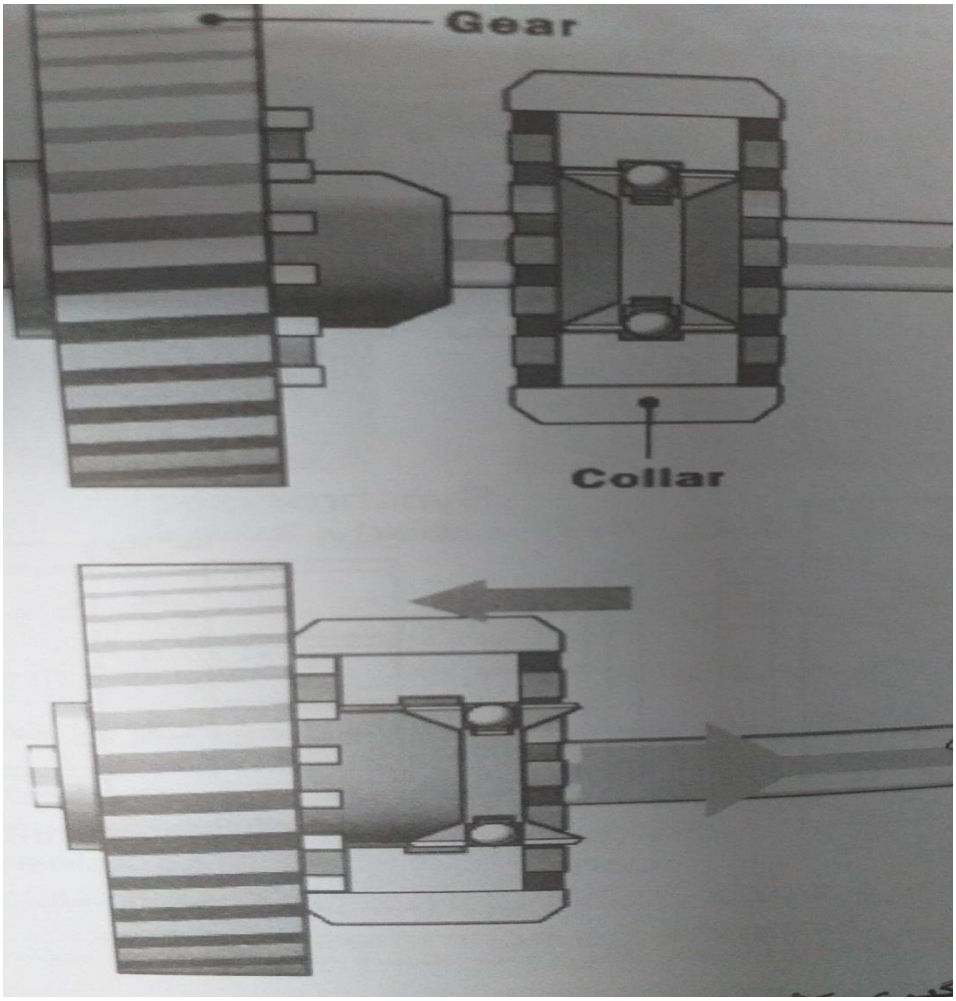
دنده سرعت به یکدیگر، هر دوی آنها مجبور خواهند بود که همراه محور دوران نموده و مسیر انتقال قدرت برقرار می گردد.

-مکانیزم سنکرونیزه (هم دور کننده) (synchronizer system)

در این سیستم، درگیری کشویی با دنده سرعت کاملا به صورت تدریجی و با استفاده از یک واسطه انجام می شود. عمل هم دور سازی به کمک نیروهای اصطکاکی و با استفاده از یک دنده برنجی صورت می پذیرد.

در سیستم سنکرونیزه، یک مغزی کشویی وجود دارد که هم قسمت داخلی آن و هم قسمت خارجی آن دارای هزار خاری می باشد. هزار خاری داخلی باعث تثبیت مغزی کشوئی بر روی محورگیربکس شده و هزار خاری خارجی، به عنوان ریلی است که خلاف کشویی می تواند بر روی آن و در راستای طولی حرکت نماید. همچنین قسمت داخلی غلاف کشویی که بر روی مغزی کشویی قرار می گیرد، نیز دارای هزار خاری می باشد و در قسمت بیرونی آن شیاری وجود دارد که محل قرارگیری ماهک تعویض دنده است. یک دنده برنجی نیز توسط خار بر روی غلاف کشویی نصب می گردد، که به آن دنده هم دورکننده نیز گفته می شودو برای حفظ موقعیت خار های موشکی در اکثر مواقع از فنرهای النگوئی استفاده می شود.

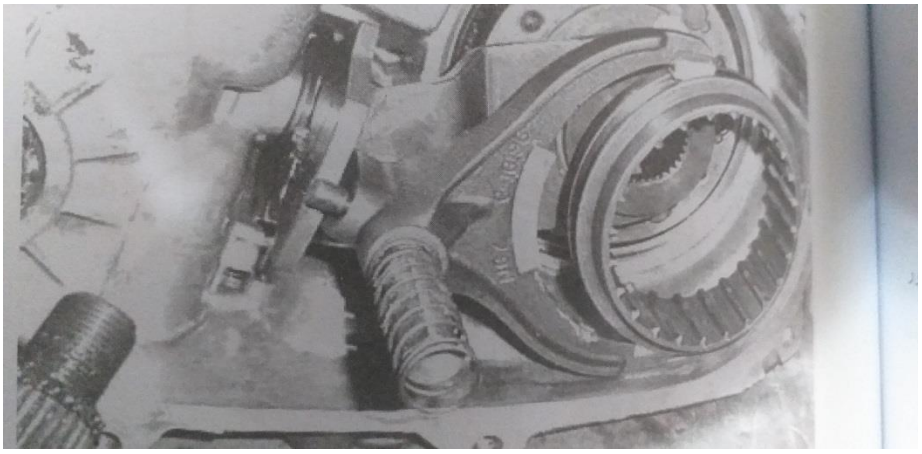




در حین تعویض دنده، غلاف کشویی توسط ماهک به حرکت درآمده و به سوی دنده سرعت می آید . با این حرکت به دنده برنجی بر روی شانه مخروطی شکل، دنده سرعت فرستاده می‌شود. در اثر درگیری تدریجی دنده برنجی با شانه دنده سرعت، عمل هم دور سازی غلاف کشوئی و دنده سرعت انجام می شود. در نهایت دنده های بغل دنده برنجی با دنده های بغل دنده سرعت درگیر شده و عمل تثبیت شدن دنده سرعت و کشویی انجام میشود.

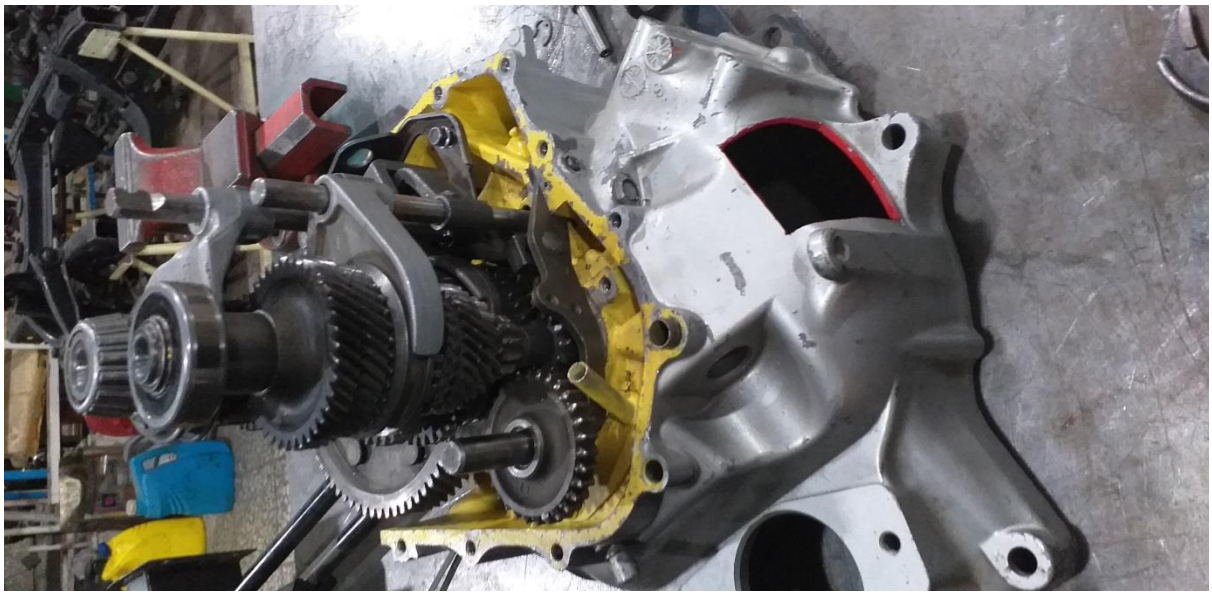
-ماهک دهنده

جنس ماهک معمولا آلومینیوم بوده و به روش ریخته گری تحت فشار دایکست تولید می‌شود. ماهک قطعه ای هلالی شکل است که بر روی شیار غلاف کشویی قرار گرفته و وظیفه حرکت دادن کشویی و درگیر نمودن آن با دنده سرعت مربوطه را به عهده دارد.



-ترانس اکسل (گیربکس دیفرانسیل سر خود)

شامل : ۱. محور ورودی ۲. محور خروجی ۳. مجموعه دیفرانسیل



گاردان (propellar shaft)

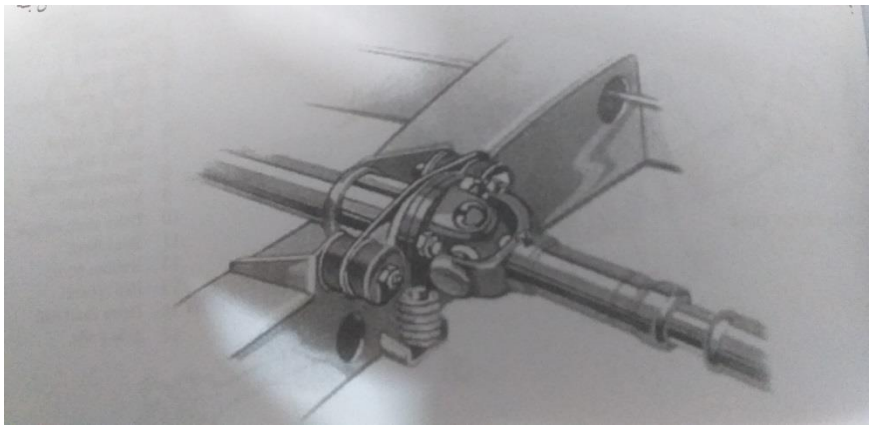
شفت دوار که می‌تواند گشتاور پیچشی را منتقل نموده و برای انتقال قدرت بین گیربکس و دیفرانسیل در خودروهای عقب محرک استفاده شود.

نکته: جنس گاردان معمولا فولاد کربنی است. به طوری که هم توانایی تحمل گشتاور های پیچشی و خمشی را داشته باشد و هم در مقابل لرزش ها و بارهای نوسانی، دچار تغییر شکل و یا شکست و ترک خوردگی نگردد. البته گاهی اوقات توسط مواد کامپوزیتی و یا آلیاژهای آلومینیوم نیز ساخته می‌شود. ضمنا میل گاردان به صورت یک تکه و یا دو تکه ساخته می شود.

نکته: در میل گاردان دو تکه، احتمال تابیدگی و خم شدن میل گاردان کاهش یافته و این گاردان ها از استحکام بهتری برخوردار بوده و میزان لرزش آنها کمتر است.

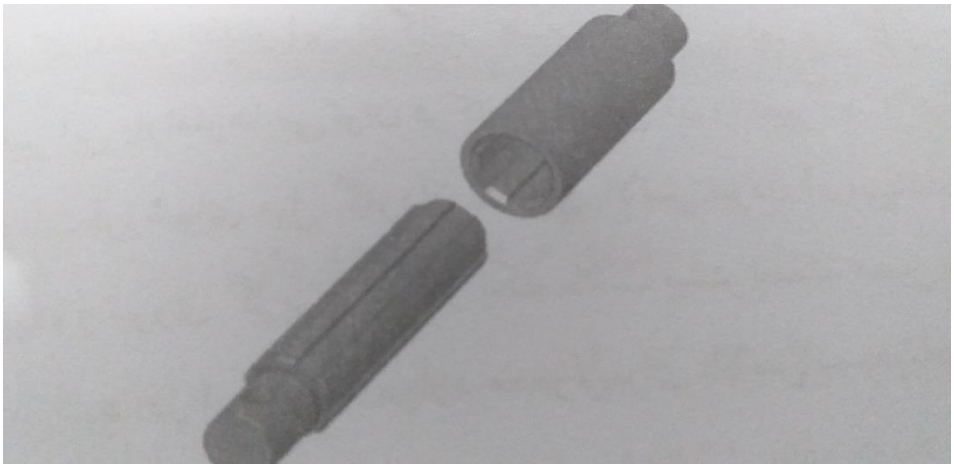
انواع اتصالات گاردان

۱.اتصال یونیورسال: علاوه بر اینکه گشتاور پیچشی و دوران را منتقل می نماید، امکان تغییر زاویه دو محور متصل به یکدیگر را نیز فراهم می کند.



اتصال یونیورسال

۲.اتصال کشوئی: علاوه بر اینکه گشتاور پیچشی و دوران را منتقل می نماید، امکان تغییر طول را نیز فراهم می آورد.



اتصال کشویی

گاردان هم باید قابلیت تغییر زاویه داشته باشد و هم امکان تغییر طول. برای این منظور حداقل از دو اتصال یونیورسال (چهار شاخ گاردان) در دو سر گاردان و یک اتصال کشویی در طول گاردان استفاده می شود.

نکته: اتصال کشویی در میل گاردان تغییر در طول شفت را امکان پذیر می سازد.

نکته: چهار شاخ گاردان تا ۱۵درجه انحراف را می تواند تحمل کند. به اتصالات یونیورسال قفل گاردان نیزگفته می شود.

نکته: برای کاهش نیروی اصطکاک در بین چهار شاخ گاردان دو شاخه های کوپلینگ از یاتاقان بندی سوزنی استفاده می شود.

نکته: مهمترین نیروی موثر بر میل گاردان پیچشی است.

نکته: وظیفهٔ قفل گاردان، خنثی کردن نوسانات زاویه ای میل گاردان است.

عیوب میل گاردان

۱. لرزش گاردان ۲. سر و صدا ۳. لقه زدن گاردان در شروع حرکت ۴. لرزش گاردان در سرعت های کم ۵. بریدن میل گاردان

معمولاً بریدن گاردان از محل اتصالات آن اتفاق می‌افتد. عواملی که باعث بروز این اتفاق می گردد عبارت اند از:

الف) وجود لقی در اتصالات گاردان

ب) خوردگی و از بین رفتن کاسه ساچمه ها و رولبرینگها

ج) اعمال ضربات ناگهانی به گاردان

نکته: بریدن گاردان از محل اتصال جلویی بسیار خطرناک بوده و باعث واژگون شدن خودرو میشود.

دیفرانسیل

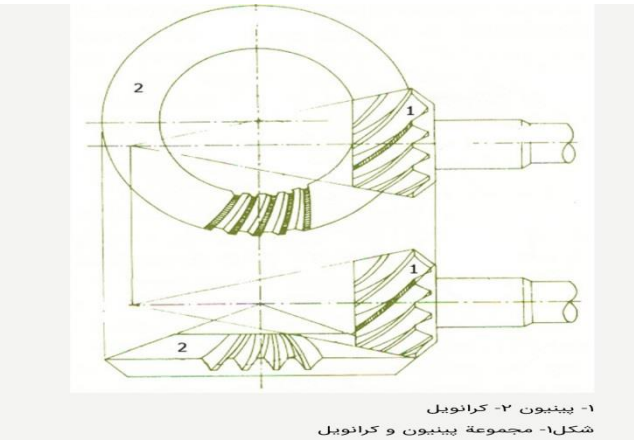
وظیفه دیفرانسیل تقلیل دور گاردان و افزایش گشتاور چرخ است و عمل تقسیم قدرت بین چرخ های محرک را نیز انجام می دهند.

وظایف دیفرانسیل

۱. انتقال قدرت از گیربکس به چرخ ها
۲. ایجاد کاهش در مقدار سرعت و افزایش گشتاور
۳. تغییر جهت راستای قدرت
۴. تقسیم قدرت بین چرخ های محرک
۵. هماهنگ سازی سرعت گردش چرخ ها هنگام دور زدن

اجزاء داخلی دیفرانسیل

۱. **چرخ دنده پینیون:** چرخ دنده کوچکی است که بر روی محور ورودی دیفرانسیل نصب میشود.
۲. **چرخ دنده کرانویل:** چرخ دنده بزرگی است که دندانه های آن در بغل قرار گرفته و با پینیون درگیر است.

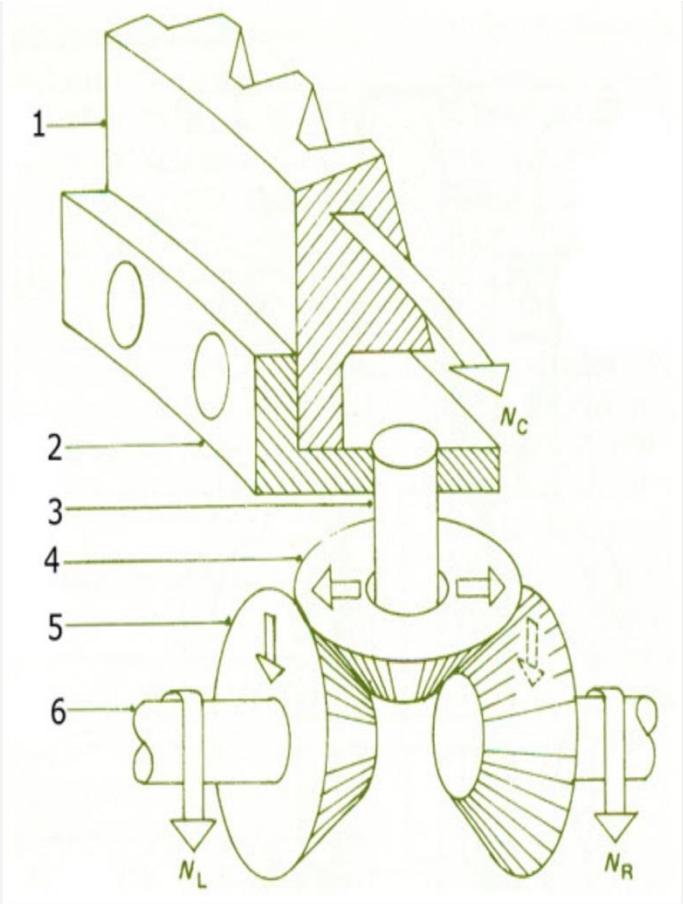


۱- پینیون ۲- کرانویل
شکل۱- مجموعة پینیون و کرانویل

۳. **قاب هوزینگ:** یک چهارچوب جعبه ای شکل است که بر روی بدنه کرانویل نصب گردیده و می تواند همراه آن به گردش درآید. سایر چرخدنده های دیفرانسیل درون این قالب قرار گرفته و به همراه آن به گردش درمی آیند.

۴. **چرخدنده های هرزگرد:** چرخدنده های مخروطی که بر روی یک محور نصب شده و همراه آن به گردش در می آیند.

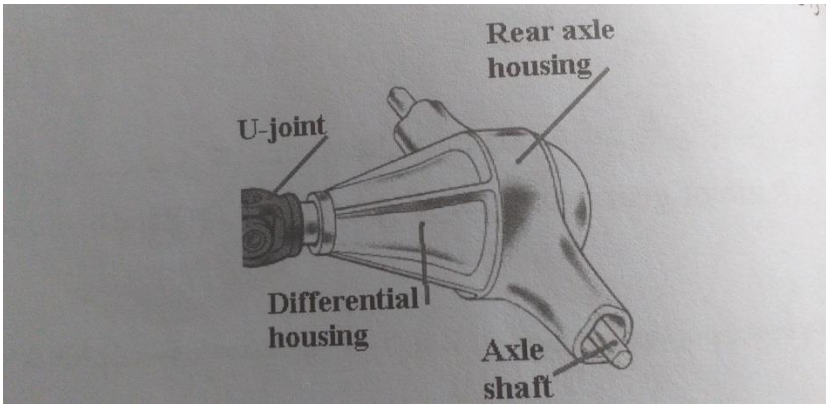
۵. **چرخدنده های پلوس:** هر یک از آنها بر روی یکی از پلوس ها نصب شده و با به گردش درآمدن آنها، پلوس ها نیز به گردش درمی ایند و گشتاور به چرخها منتقل می گردد. این دو چرخدنده پلوس همواره با چرخدنده های هرزگرد درگیر می باشند.



۱-کرانویل۲-هوزینگ۳-شفت چرخ دنده های هرز گرد۴- چرخ دندة هرز گرد۵-چرخ دندة سر پلوس۶-پلوس

Nc: دور کرانویل NL: دور چرخ چپ
NR: دور چرخ راست

۶. **پوسته دیفرانسیل (کله گاوی):** وظیفه محفوظ نگه داشتن اجزاء داخلی دیفرانسیل را بر عهده دارد و می توان درون آن را پر از روغن کرد که این روغن از نوع واسکازین می باشد و باعث طول عمر چرخدنده ها و کاهش میزان ساییدگی می‌شود.



چرخدنده های پینیون و کرانویل از نظر تعداد دندانه هایی که دارند و حالت های مختلف درگیری به چند گروه تقسیم می شوند:

۱. گروه H (Hunting): نسبت دنده ها عدد گنگ۳.۸۳۳=۴۶/۱۳

۲. گروه NH (Non Hunting): نسبت دنده ها عدد صحیح ۴=۴۰/۱۰

۳. گروه PNH (Period Non Hunting): نسبت دنده ها عدد گویا ۴.۵=۴۵/۱۰

نکته: عمل تقلیل دور در دیفرانسیل، به عهده پینیون و کرانویل است و به تعداد دندانه های آنها بستگی دارد.

نکته: دنده های هرزگرد در دیفرانسیل وظیفهٔ تقسیم دور بین چرخ های اتومبیل را بر عهده دارد.

نکته: در دیفرانسیل بدون لغزش، قفل شدن دنده های سر پلوس با محفظه از لغزیدن چرخها در جاده کم اصطکاک جلوگیری می کند.

نکته: در دیفرانسیل دوبل یک نوع پینیون به کار رفته است.

نکته: وظیفه ایجاد اختلاف دور در سر پیچ جاده ها به عهده هرزگرد در دیفرانسیل است.

هنگامی که خودرو در مسیر مستقیم حرکت می نماید، نیروی مقاوم وارده بر هر دو چرخ با هم برابر بوده و هیچ گونه حرکت نسبی در مورد چرخدنده های درون قاب هوزینگ رخ نمی دهد ولی آن هنگام که خودرو در حال گردش نمودن است، نیروی مقاوم وارده به چرخ داخلی خودرو افزایش یافته و نیروی مقاوم چرخ بیرونی کاهش می یابد. همین امر باعث می شود که سرعت گردش پلوس چرخ داخلی کاهش یافته و سرعت گردش پلوس چرخ بیرونی افزایش یابد. برای این منظور یکی از چرخدنده های پلوس نسبت به قاب هوزینگ در یک جهت و چرخدنده پلوس دیگر در جهت مخالف نسبت به هوزینگ گردش می نماید. چرخدنده های هرزگرد به این عمل کمک کرده و باعث گردش چرخدنده‌های پلوس با سرعت مساوی ولی در جهت خلاف یکدیگر نسبت به قاب هوزینگ می‌شوند.

گیربکس اتوماتیک

عمل تعوض دنده، بصورت خودکار و متناسب با شرایط حرکتی خودرو انجام می پذیرد.

اجزاء تشکیل دهنده گیربکس اتوماتیک

۱. مبدل گشتاور هیدرولیکی (کلاچ هیدرولیکی)
۲. مجموعه چرخدنده های سیاره ای و خورشیدی گیربکس
۳. سیستم های کنترل کننده

واحد مبدل گشتاور، وظیفهٔ عمل کلاچ گیری را در هنگام تعویض دنده ها بر عهده دارد. از سوی دیگر چرخدنده های سیاره ای و خورشیدی نیز نسبت تبدیل مورد نیاز در گیربکس را فراهم می نمایند.

وضعیت های دسته دنده اتوماتیک (Gear Situations)

۱. **خلاص N (Neutral)** : ارتباط بین اجزاء انتقال دهنده قدرت درون گیربکس قطع بوده و هیچ گونه گشتاوری منتقل نمی شود.
۲. **دنده عقب R (Rear)** : جهت گردش شفت خروجی معکوس شده و خودرو به سمت عقب حرکت می کند.
۳. **وضعیت پارک P (Park)** : شفت خروجی گیربکس نسبت به پوسته آن قفل شده و خودرو امکان حرکت ندارد.
۴. **حرکت رو به جلو D (Drive)** : خودرو به سمت جلو حرکت می کند و انتخاب نسبت دنده مناسب برای حرکت خودرو، به صورت اتوماتیک و متناسب با شرایط حرکتی خودرو است.

۵. **وضعیت دستی M (Manual)** : گاهی اوقات بر روی دسته دنده های اتوماتیک، وضعیتی پیش بینی گردیده است که انتخاب دنده در آن حالت بصورت دستی خواهد بود و از اعداد شماره دنده ها به منظور نشان دادن این وضعیت استفاده شده است.

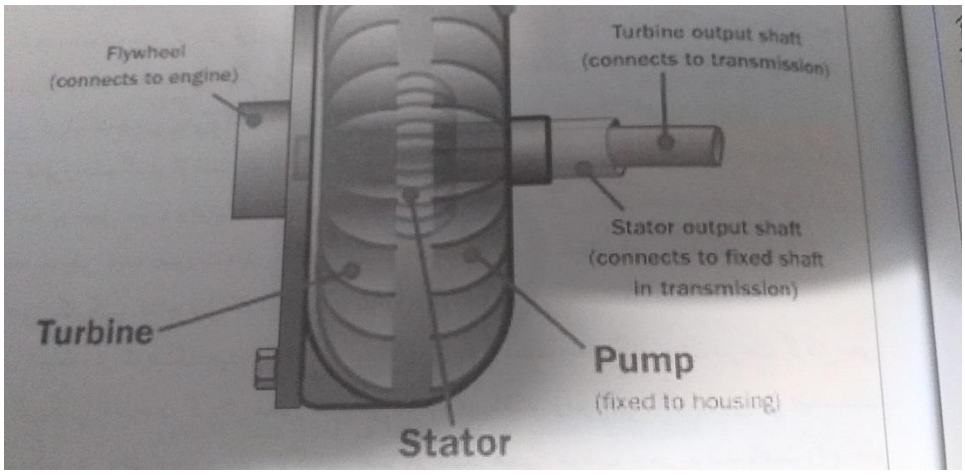
۶. **وضعیت L_1 و L_2** : اگر در سرازیری ها از وضعیت D استفاده شود، به تدریج به تدریج سرعت خودرو افزایش یافته و غیر قابل کنترل می گردد. L_1 و L_2 به صورت دستی در سرازیری ها جهت جلوگیری از افزایش سرعت استفاده می شوند.

نکته : گیربکس اتوماتیک هرگاه که احساس کند دور موتور بیش از اندازه افزایش یافته است، بصورت خودکار تعویض دنده را انجام می دهد.

نکته : در دنده های سنگین، دور خروجی گیربکس کمتر بوده و گشتاور بیشتر ایجاد می شود و برعکس در دنده های سبک، دور خروجی گیربکس بالاتر بوده ولی گشتاور حاصله کمتر می باشد.

مبدل گشتاور هیدرولیکی

این قسمت از گیربکس اتوماتیک، در حقیقت همان وظیفهٔ کلاچ را ایفا می نماید. یعنی مبدل گشتاور انتقال دهنده گشتاور تولید شده توسط موتور به محور ورودی گیربکس می باشد. این سیستم شامل یک پروانه پره دار بر روی شفت خروجی موتور و یک توربین بر روی شفت ورودی گیربکس و استاتور می باشند.



مجموعه چرخنده های سیاره‌ای و خورشیدی (Planetory Gears)

چرخدنده هایی که عمل تبدیل قدرت و سرعت را درون گیربکس اتوماتیک انجام می دهند، از نوع سیاره‌ای و خورشیدی بوده که یک چرخدنده در مرکز وجود دارد که به آن چرخدنده خورشیدی می گویند، در اطراف این چرخدنده خورشیدی، چندین چرخدنده دیگر درحال گردش است که به آن‌ها سیاره‌ای می‌گویند و این چرخدنده ها معمولاً توسط یک قاب به یکدیگر متصل شده‌اند، تا موقعیت نسبی آن‌ها نسبت به هم حفظ شده و هماهنگ با هم حرکت نمایند. چرخدنده‌های رینگی که از داخل دنده دار هستند، حول چرخدنده‌های سیاره‌ای قرار گرفته و با به گردش درآمدن چرخدنده های سیاره ای به گردش درمی‌آیند.
مزایای چرخدنده‌های سیاره‌ای و خورشیدی عبارتند از:

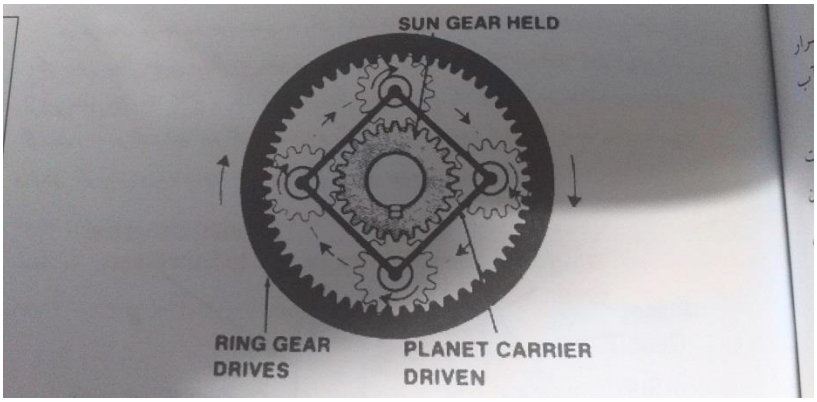
۱. فضا و حجم کمتری اشغال می‌کند.

۲. ظرفیت انتقال گشتاور آن‌ها بالاتر از سایر سیستم هاست.

۳. سر و صدای آن‌ها کمتر است.

۴. احتمال شکستن چرخدنده ها نسبت به سایر مدل ها کمتر است.

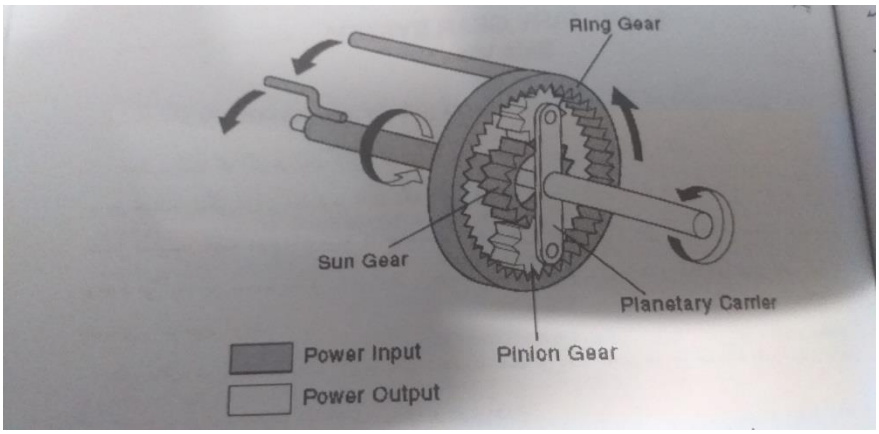
۵. امکان تعویض دنده و قفل نمودن هر یک از اعضاء مجموعه به‌راحتی امکان‌پذیر است.



نحوه عملکرد گیربکس اتوماتیک

در گیربکس اتوماتیک های پیشرفته از ترکیب دو یا چند مجموعه چرخدنده سیاره ای برای وضعیت دنده‌های بیشتر استفاده شده است. چرخدنده خورشیدی به یک شفت متصل شده و قاب متصل به چرخدنده‌های سیاره‌ای نیز به یک محور دیگر متصل می‌گردد. یک پوسته گردنه نیز به چرخدنده رینگی متصل می شود. برای هر یک از این محورها یک کلاچ و یک ترمز تعبیه شده‌است، که ترمزها می‌توانند باعث تثبیت عضوها شده و از حرکت آن‌ها جلوگیری نمایند و کلاچ ها نیز وظیفه برقراری ارتباط یک عضو با محور ورودی گیربکس و یا محور خروجی گیربکس را برعهده دارند.

اگر هر یک از این سه عضو (خورشیدی، سیاره‌ای و یا رینگی) را توسط ترمز ثابت نگه داریم و عضو دیگر را توسط کلاچ به محور ورودی متصل کنیم و عضو سوم را به وسیله کلاچ به محور خروجی گیربکس وصل کنیم، یک نسبت تبدیل جدید بوجود می آید. این نسبت تبدیل را می‌توان با جابه جا نمودن وضعیت ترمزها و کلاچ ها تغییر داد و حالت‌های جدیدی به وجود آورد.



به‌عنوان مثال:

وضعیت دنده عقب (Reverse Gear)

اگر قاب چرخدنده سیاره‌ای توسط ترمز ثابت نگه داشته شود و محور چرخدنده خورشیدی توسط کلاچ به محور ورودی گیربکس متصل گردد، با به گردش درآمدن چرخدنده خورشیدی، چرخدنده رینگی در جهت عکس به حرکت درخواهد آمد.

وضعیت دنده یک (1 Gear)

هنگامی که چرخدنده رینگی توسط ترمز ثابت نگه داشته می‌شود، اگر چرخدنده خورشیدی بچرخد، قاب چرخدنده‌های سیاره‌ای نیز در همان جهت، ولی با سرعت خیلی کمتر به گردش درمی‌آید.

وضعیت دنده دو (2 Gear)

در این حالت چرخدنده خورشیدی ثابت است، چرخدنده رینگی به محور ورودی گیربکس و قاب چرخدنده سیاره‌ای به محور خروجی گیربکس متصل است. با به گردش درآمدن چرخدنده رینگی، قاب چرخدنده‌های سیاره‌ای نیز بطور هم جهت، ولی با سرعت کمتر به گردش درمی‌آیند.

وضعیت دنده سه (3 Gear)

هر سه عضو مجموعه یعنی چرخدنده خورشیدی، رینگی و قاب چرخدنده‌های سیاره‌ای نسبت به یکدیگر قفل شده و همه با هم و با سرعتی یکسان دوران می‌نمایند. انتقال قدرت به‌صورت مستقیم و با نسبت تبدیل (۱،۱) است.

وضعیت دنده بیش سرعت (Over Drive Gear)

اگر چرخدنده خورشیدی ثابت گردیده، قاب چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای به محور ورودی گیربکس و چرخ دنده رینگی به محور خروجی گیربکس متصل شود، سرعت گردش محور خروجی گیربکس بیشتر از سرعت گردش محور ورودی آن خواهد بود. این وضعیت برای سبک‌ترین دنده در سرعت های زیاد مناسب است