

نابالانسی یکی از عوامل اصلی ایجاد ارتعاش در ماشین های دوار است. نابالانسی باید از لقی یاتاقان ها، کمانش روتور و یا ناهمراستایی تفکیک گردد.

آخرین مرحله ساخت یک روتور عملیات بالانس است. علاوه بر این، مواردی باعث تغییر بالانس روتور در طول دوره کارکرد آن می شود. معمولاً این نوع نابالانسی ها را در محل روتور و بدون باز کردن آن و با اندازه گیری لرزش و محاسبات مرتفع می سازند (بالانس در محل).



بطور کلی نابالانسی از عدم انطباق محور مرکز ثقل (نه فقط مرکز ثقل) یک روتور بر محور دوران آن روتور بوجود می آید. عوامل ایجاد نابالانسی را می توان بصورت خلاصه زیر برشمرد:

الف) عوامل ناشی از تولید

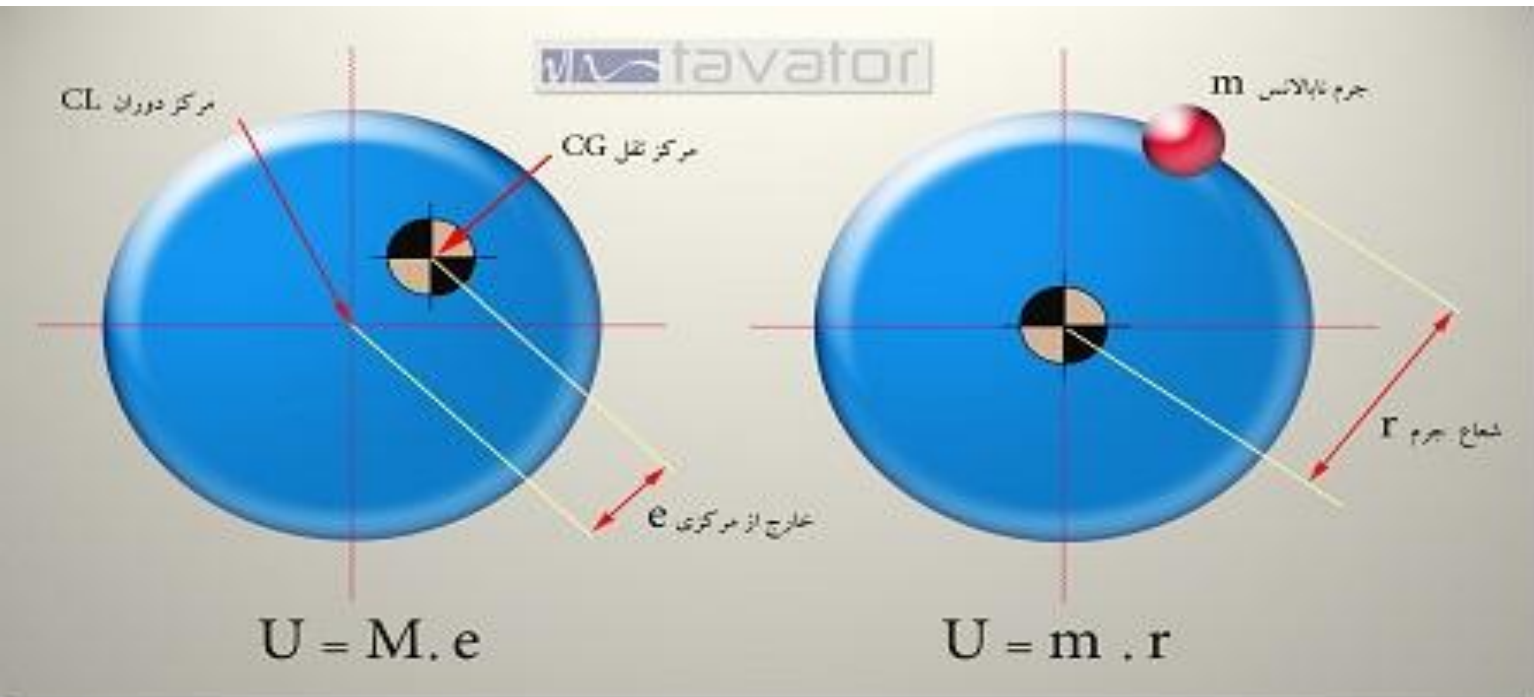
- خارج از مرکزی - خارجی و داخلی
- وجود حفره های ریخته گری
- عدم تقارن قطعات بعلت نوع کاربرد
- انطباق های خارج از مرکز
- انحراف مرکز ثقل بدلیل لقی شافت و سوراخ کلید
- حرکت نسبی قطعات دوار مانند مکانیزم ها

ب) عوامل ناشی از کار روتور

- جرم گرفتن غیر یکنواخت
- سایش غیر یکنواخت
- کمانش روتور
- تعمیر روتور بصورتی که جرمی به آن اضافه یا کم شود
- شوک های حرارتی (جوشکاری و..)
- جابجایی یا انباشت مواد در فضاهای خالی
- ترک ها
- تغییر شکل های ناشی از آزاد شدن تنش های درونی

با توجه به شکل و میزان عدم انطباق، نابالانسی های متنوعی ایجاد می گردد که عواملی همچون انعطاف پذیری روتور، طول و شعاع روتور، نحوه توزیع جرم در طول روتور و شدت نابالانسی (متناسب با توان دوم سرعت چرخشی روتور) در تعیین نوع آن تاثیر گذار است. عملیات بالانس برای ایجاد انطباق بین محور دوران روتور با محور مرکز ثقل روتور صورت می گیرد.

در هر صفحه از روتور، می توان نابالانسی را بصورت خارج از مرکزی مرکز ثقل آن صفحه از روتور نسبت به محور دوران در نظر گرفت. این مقدار نابالانسی را می توان با جرم  $m$  در شعاع  $r$  معادل در نظر گرفت و جرم بالانس را در مقابل آن نصب نمود یا همین مقدار را از آن محل کم نمود تا عملیات بالانس صورت گیرد.



تعداد صفحاتی که باید بعنوان صفحه بالانس انتخاب شود بسته به نوع روتور متفاوت است. بر این اساس انواع بالانس بصورت زیر قابل تعریف است:

الف) بالانس روتورهای صلب

1. بالانس تک صفحه ای

2. بالانس دو صفحه ای

3. بالانس چند صفحه ای

ب) بالانس روتورهای انعطاف پذیر

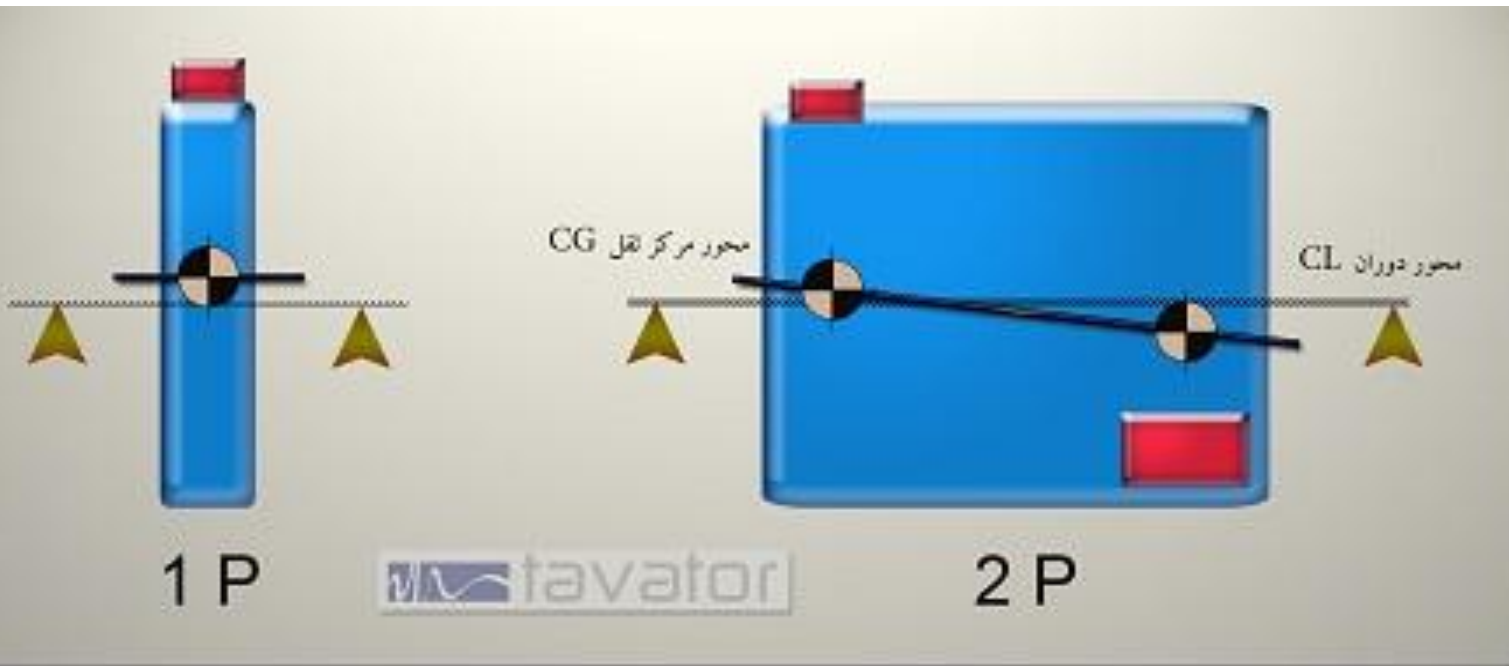
1. تقریب با روتورهای صلب

2. بالانس مودال

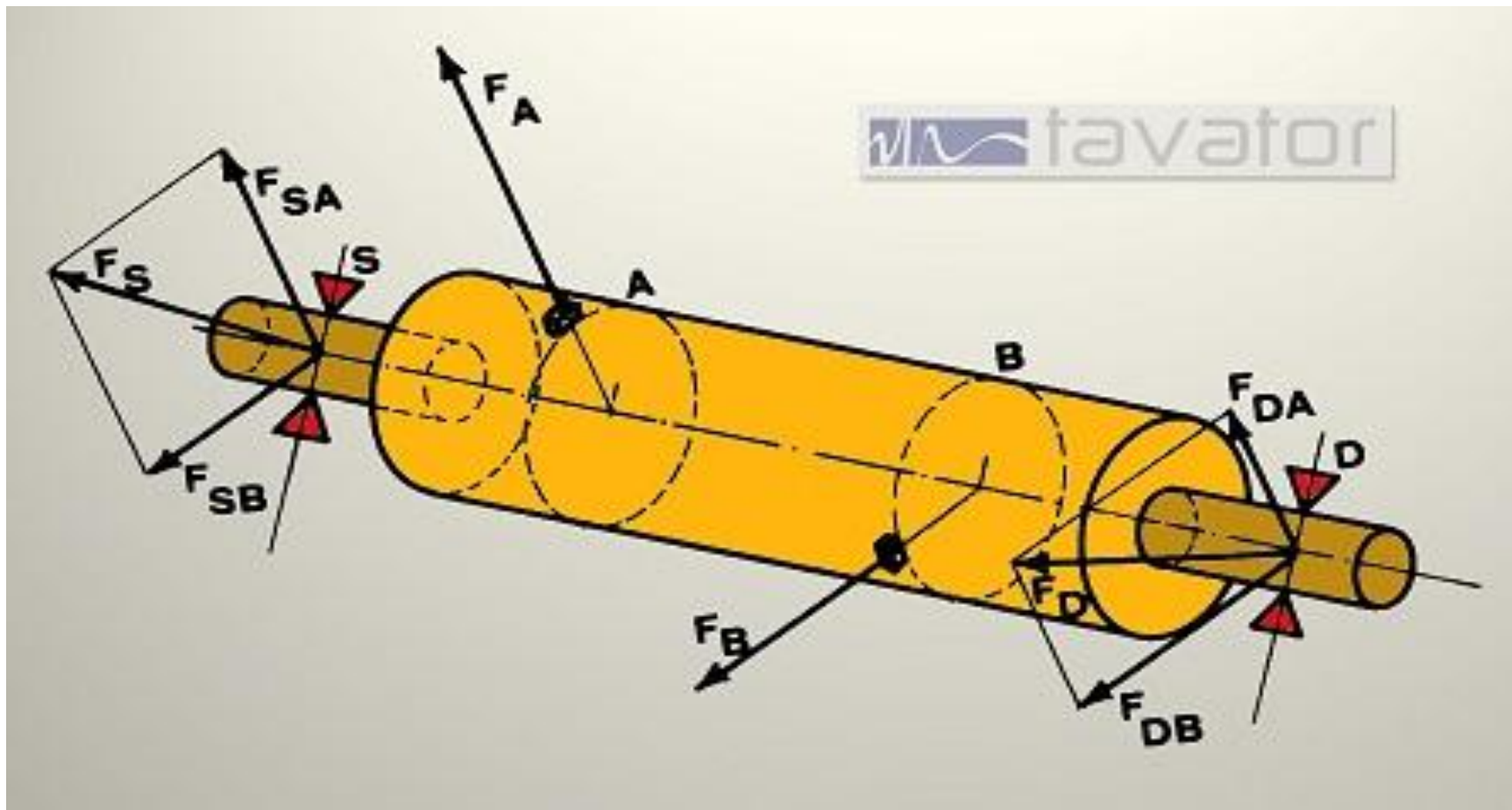
3. بالانس در خلا

بطور کلی روتورهایی که زیر سرعت بحرانی اول روتور کار می کنند بعنوان روتورهای صلب شناخته می شوند و روتورهایی که هنگام راه اندازی حداقل از اولین فرکانس بحرانی خود عبورکنند تحت عنوان روتور های انعطاف پذیر شناخته می شوند مانند بسیاری از توربوماشین های بزرگ یا پر سرعت.

اغلب روتورهای معمول در صنعت از نوع روتورهای صلب هستند که ساده ترین آنها روتورهای تک صفحه ای می باشد. این روتورها عرض بسیار کمتری نسبت به قطر روتور دارند. در این نوع روتورها می توان مرکز ثقل را متمرکز در یک نقطه در نظر گرفت. روتورهای صلبی که طول قابل ملاحظه ای نسبت به قطر دارند (بیشتر از یک هفتم قطر) نمی توان از یک نقطه برای تعریف مرکز ثقل استفاده نمود. بنابراین برای تعریف مرکز ثقل حداقل لازم است دو نقطه تعریف شود و این دو مرکز ثقل، محور مرکز ثقل را بوجود می آورد. در این حالت برای بالانس نیاز است حداقل دو صفحه اصلاحی اختیار شود و عملیات بالانس دو صفحه ای برای این منظور استفاده می شود.



در بعضی از روتورهای صلب اگر چه خود روتور بصورت دو صفحه ای قابل بالانس است، اما وجود بیش از دو یاتاقان برای روتور (مانند میل لنگ اتومبیل) الزام بالانس در صفحات بیشتر (به ازاء هر یاتاقان اضافی یک صفحه اضافه می شود) را بوجود می آورد. در این صورت نیاز به بالانس چند صفحه ای می باشد.



روتورهای انعطاف پذیر را ممکن است بتوان (در بعضی موارد خاص) با تقریب روتورهای صلب و با عملیات بالانس در محل تنظیم نمود.

برای اجرای یک عملیات بالانس کامل در روتورهای انعطاف پذیر، نیاز به انجام بالانس مودال است. در این روش باید رفتار دینامیکی روتور (توزیع سختی، میرایی، جرم روتور و تکیه گاه های آن، فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی روتور و مجموعه ماشین) شناسایی گردد.

اگر چه بالانس مودال را می توان در محل کار روتور، با شناسایی رفتار دینامیکی روتور و دسترسی به صفحات مودال، انجام داد. معمولاً بعد از انجام تعمیرات روی روتورهای سنگین، برای ایمنی و اطمینان، روتور توسط سیستم های بالانس در خلا تنظیم می گردد. در این حالت، دسترسی بهتری به صفحات اصلاحی مودال فراهم شده و از عملکرد قطعات تعمیراتی در سرعت کاری بالای روتور اطمینان حاصل می گردد.



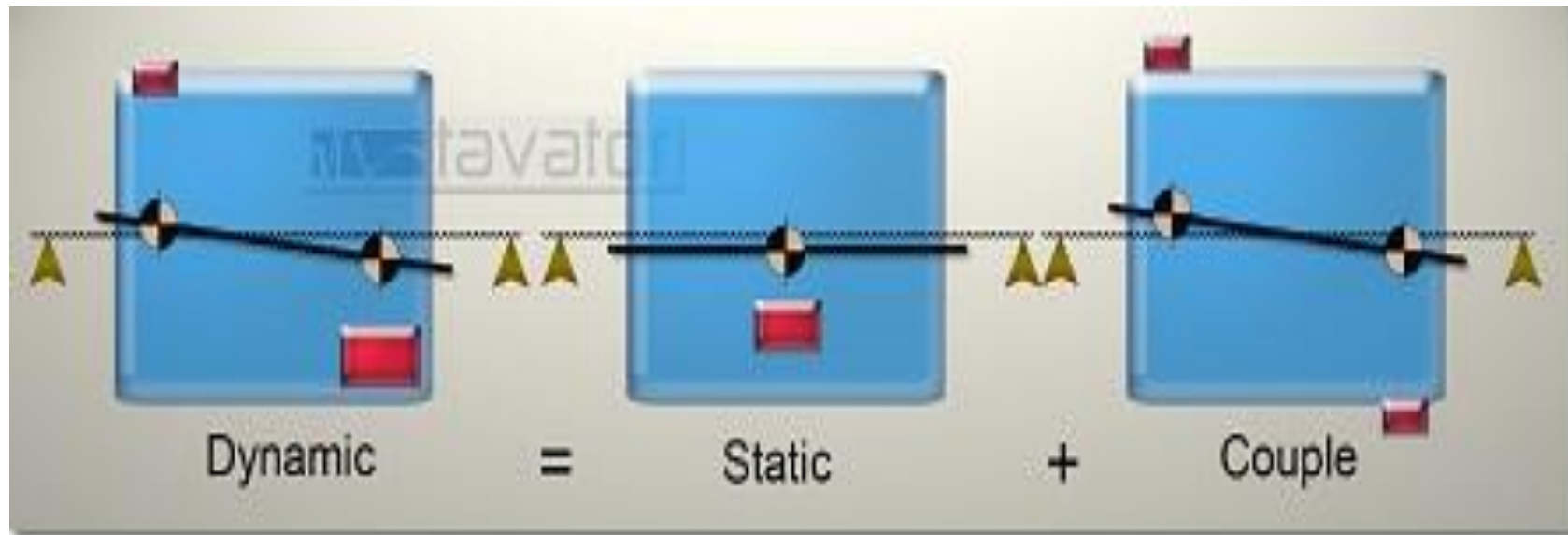
## بالانس استاتیکی و دینامیکی

هر بالانس تک صفحه ای را می توان بعنوان یک بالانس استاتیکی در نظر گرفت و با ارزیابی اثر ثقلی نابالانسی، مقدار و محل آن را شناسایی و اصلاح نمود.

در روتورهای پر سرعت و یا سنگین (بعلت اثرات اصطکاک و...) امکان ارزیابی استاتیکی بصورت دقیق وجود ندارد. در این حالت لازم است با اندازه گیری اثر نیروی گریز از مرکز، روتور را به روش دینامیکی بالانس نمود.

نابالانسی های دو صفحه ای به بالا را نمی توان به روش استاتیکی بالانس نمود و لازم است با اندازه گیری اثر نیروی نابالانسی (که می تواند لرزش تکیه گاه های روتور باشد) روتور را بالانس نمود.

هر نابالانسی دو صفحه ای یک نابالانسی دینامیکی است که از دو جزء نابالانسی کوپل و نابالانسی استاتیکی تشکیل می گردد. یک نابالانسی کوپل از دو نابالانسی یکسان اما با  $180^\circ$  درجه اختلاف جهت و در دو صفحه دور از هم تشکیل می گردد.





ماشین های بالانس عمومی امروزی در دو طرح اصلی یاتاقان ثابت و یاتاقان معلق تولید می گردند. ماشین های یاتاقان ثابت با یکبار کالیبره شدن قادر است سایر روتورها را نیز بالانس کند اما ماشین های یاتاقان معلق باید برای هر روتور کالیبره گردد (با استفاده از جرم آزمایشی).

اما ماشین های یاتاقان ثابت نیاز به سرعت های دورانی بالاتر برای دستیابی به دقت های بالاتر دارند در صورتی که ماشین های یاتاقان معلق در سرعت های دورانی پایین نیز از دقت نسبتاً مناسبی برخوردار هستند، بنابراین محرک این نوع روتورها انرژی کمتری مصرف می کند.

خارج کردن یک روتور از ماشین و ارسال به کارگاه بالانس (مخصوصاً در ماشین های بزرگ) منجر به صرف هزینه های گزاف و توقف ماشین و کاهش تولید می گردد. بهترین روش در این حالت، انجام بالانس در محل بدون باز کردن روتور می باشد.

در این حالت یاتاقان ها و تکیه گاه های روتور نقش ماشین بالانس را بازی کرده و با اندازه گیری دامنه و فاز حرکت این یاتاقان ها و محاسبه تاثیر میزان جرم نابالانسی آزمایشی مشخص، امکان تعیین مقدار و موقعیت نابالانسی فراهم می گردد.

بالانس درجا معمولاً بعد از تعمیرات یا نابالانس شدن روتور پس از مدتی کار کردن انجام می گردد و روتورهای تولیدی در کارخانجات در آخرین مرحله تولید، روی ماشین بالانس مناسب، تنظیم می گردند.



---

بالانسر های امروزی عمدتاً با تکیه بر قابلیت های میکروپروسورها، علاوه بر اینکه دامنه و فاز را بصورت آنالوگ اندازه گیری می کنند، دارای ویژگی های پردازش دیجیتال برای انجام عملیات فیلترینگ، محاسبات، نمایش گرافیکی، گزارش گیری و ثبت در کامپیوتر می باشند.



یک دستگاه دوار که در کارگاه (یا مکان دیگر) با آن آشنا هستید را انتخاب و نحوه درست بالانس آن را مورد تحقیق قرار داده و گزارش خلاصه ای برای آن آماده نمایید.