

Vibrationer

Vi har i det här avsnittet huvudsakligen koncentrerat oss kring det som gäller för en tvåcylindrig motor med cylindrarna i 45 graders V-form.

Olika orsaker

En tvåcylindrig motor med 45° cylindervinkel ger ifrån sig en hel del vibrationer. De kan ha olika ursprung och kan vara av flera olika slag.

När vevaxeln vrids framåt under expansionstakten vrids också motorn bakåt med samma kraft. Under de övriga takterna bromsas vevaxeln och motorn vrids då framåt. De här impulserna ger upphov till vibrationer i motorcykelns längdriktning.

En annan typ av vibration uppstår då kolvarna vänder vid ÖDP och NDP. Under ett varv ändras kolvhastigheten från en hög hastighet till stillastående, för att åter accelerera till hög hastighet. Medelkolvhastigheten för en Evo vid 5000 r/min är 18 m/s eller 65 km/h. Kolven har högsta hastighet då vinkeln mellan vevstaken och vevaxelns radie är 90°. Beroende på vevstakens längd och vevaxelns radie uppstår den högsta hastigheten vid ca 75° och vid ca 285°. Kolven har högsta hastighet i övre delen av cylindern. Den högsta hastigheten är nästan dubbelt så hög som kolvens medelhastighet. Att hastigheten är större i övre delen än i nedre delen gör att kolvens rörelseenergi är större före och efter ÖDP än vid NDP. Ett problem då man balanserar en motor. Kraftmomentet som ger vibrationen är proportionell mot kolvens massa, slaglängden och kolvhastigheten i kvadrat. En stor del av de här vibrationerna kan minskas med hjälp av balansaxlar.

Vibrationer stjäl effekt!

Obalans i motorn innebär en extra belastning på axlar och lager. Ju högre varvtal desto viktigare blir balanseringen. Obalansen stjäl effekt från motorn. Skillnaden mellan en bra balansering och en mindre bra märks genom vibrationer. Men det märks också på hur fort motorn varvar upp och vilket varvtal motorn kan nå.

Ytterligare en typ av vibration uppstår av vevpartiets rotation. Den uppstår då vevstakens storända roterar och skapar obalans genom centrifugalkraften. Därför finns det en motvikt i form av en masskoncentration placerad på vevskivorna. Man kan få en bra balansering då vevstaken och motvikten är i rät linje $d \ v \ s$ vid ÖDP och NDP. Motvikten ger dock upphov till en horisontellt riktad kraft då vevstaken och vevaxelradien bildar en rät vinkel. I det här fallet blir balanseringen en kompromiss mellan vertikala och horisontella vibrationer.

För att hindra vibrationerna från motorn att nå föraren kan man isolera motorn från ramen, vanligen genom vibrationsdämpare av gummi. Nackdelen är då att motorn inte ingår som en bärande del i ramen, vilket ställer högre krav på ramens konstruktion.

Anledningen till att man vill minska vibrationerna är flera:

- Bättre komfort för förare och passagerare
- Minskad belastning på motorns ingående delar
- Minskad belastning på ram och transmission
- Minskad förslitning
- Snabbare varvtalsökning och högre varvtal

Kritiska varvtal

Villkoret för balans är att en kropps tyngdpunkt och dess rotationscentrum sammanfaller. Detta kan i praktiken aldrig uppnås. Skillnaden mellan tyngdpunkten och rotationscentrum kallas excentricitet. Vevaxelns diameter, axialavståndet mellan ramlagren, den roterande massans storlek, excentriciteten och rotationshastigheten bestämmer vevaxelns utböjning. Alla axlar, hur kraftiga de än är, har ett nerhäng i vila och en utböjning vid rotation. En kraftig utböjning vid rotation kan göra att axeln brister. Kraften som kan göra att axeln går av verkar i tyngdpunkten och kallas för centrifugalkraft och ökar med kvadraten på rotationshastigheten. Den största utbuktningen sker vid det som kallas det kritiska varvtalet. Då uppstår ett resonansfenomen som gör att axelns amplitud ökar våldsamt. Vid konstruktion av roterande maskiner försöker man alltid att få dem att ha arbetsvarvtal under eller över det kritiska varvtalet. Ett riktvärde är att undvika varvtalsområdet 0,7 till 1,3 gånger det kritiska varvtalet. Det är fullt möjligt att passera igenom det kritiska varvtalet under uppkörning och utrullning, om det sker snabbt.

Vibrationer är farliga!

Vibrationerna gör att smörjfilmen mellan axlar och lager lättare brister vilket radikalt kan öka förslitningen.

En HD-motor når inte varvtalsområdet för det kritiska varvtalet. Den har alltså en underkritisk gång

Balansering

En V2-motor har som andra kolvmotorer ingående delar som är fram och återgående och delar som är roterande. En balansering avser att så långt möjligt få dessa delar i balans för att minska stötblastningen på ingående delar, det som märks som vibrationer från motorn.

Vid balansering är det första man gör att få de rörliga delarna i varje cylinder att ha samma massa. Delarna är kolvar, kolvringar, kolvtapp, kolvtappslåsningar och vevstakar. När det gäller vevstakarna räcker det inte med att de har samma massa utan att fördelningen av massa mellan storända och lillända ska vara lika.

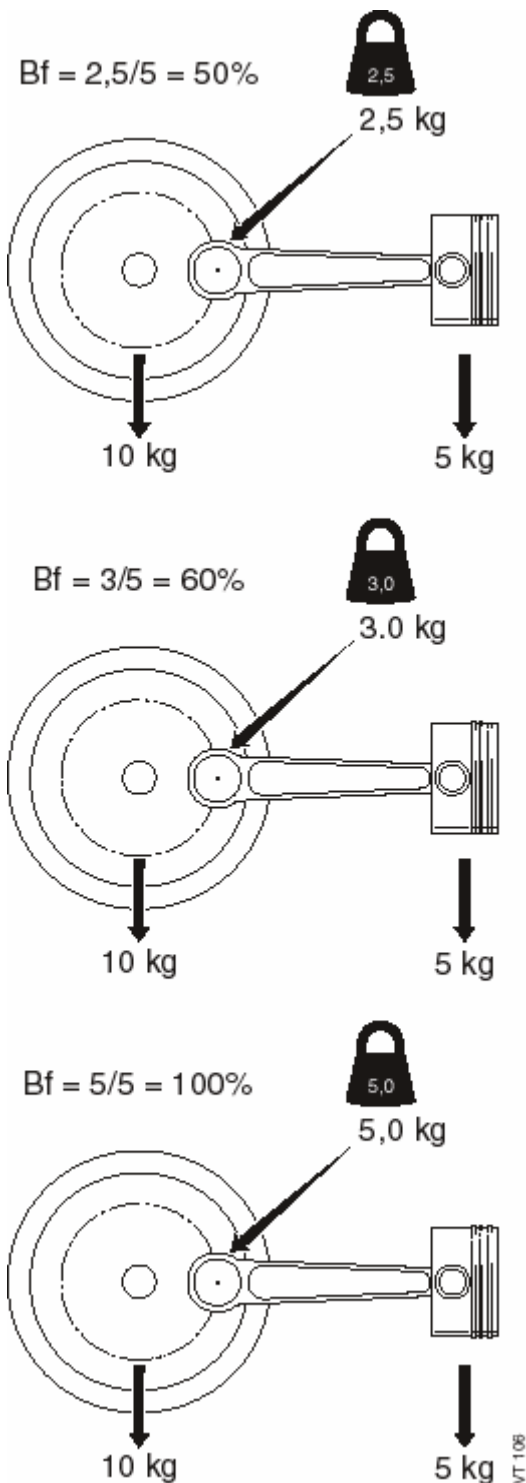
Delarna som har en fram- och återgående rörelse, eng. reciprocating parts, är kolvar, kolvringar, kolvtapp, kolvtappens låsningar och vevstakarnas lillända. Roterande delar, eng. rotating parts, är vevpartiets svänghjulsdelar med vevstakstapp, lager och övriga delar samt vevstakarnas storända. Vevstakarnas lillända ingår i de fram och återgående rörelserna och vevstakarnas storända ingår i de roterande rörelserna. Man väger vevstakarnas storända och lillända för att veta vilken vikt som ska adderas till den fram och återgående massan och vilken vikt som ska adderas till den roterande massan.

När vevpartiet balanseras så räknar man ut vilken massa, i form av en balansvikt, som ska monteras på svänghjulen under balanseringen enligt följande formel.

$$B_w = \frac{M_{rot} + (M_{rec} \cdot B_f)}{2}$$

B_w	Balansvikten (Bob-weight)	g
M_{rot}	Roterande massa	g
M_{rec}	Fram och återgående massa	g
B_f	Balansfaktorn	Sortlös
2	Konstant	Sortlös

En högre balansfaktor ger mer horisontella vibrationer. Balansvikten som beskrivs i formeln gäller då vardera svänghjulshalvan balanseras var för sig med balansvikten placerad i hålet för vevtappen. Principen för hur balansvikten förhåller sig till balansfaktorn framgår av bilden.



Balansfaktorn som man fått genom erfarenhet är för stora H-D-motorer, 60-62 %. En lägre balansfaktor ger mer vertikala vibrationer.

Det är mycket viktigt att hopsättning av vevpartiet och svänghjulshalvorna sker på ett korrekt sätt. Vevpartiet måste i flera steg kontrolleras så att det inte är skevt. Monteringen och uppmätning brukar kunna ske i samma riktbank som används för den statiska balanseringen.

Om man byter kolvar och de nya kolvarna inte har samma vikt som de gamla så kommer man att ändra på balanseringen. Den inbördes skillnaden i massa mellan de två nya kolvarna bör vara så liten som möjligt. Skillnaden i massa mellan de nya kolvarna och de gamla innan vibrationerna märks är +7 % och -2 %. Toleransen gäller för en helt ren kolv, d v s utan ringar, kolvbult och låsningar. Vid större skillnad bör man balansera om hela vevpartiet.

Två balanseringsmetoder

Statisk balansering

Balanseringen sker genom att en svänghjulshalva placeras i en ställning där den kan rotera fritt. Den tunga sidan kommer genom gravitationen att placera sig längst ner. Man borrar sedan bort material från den tunga sidan. Eller lägger till material på den lätta sidan. Man har då fått svänghjulets och vevaxelns rotationscentrum att nästan sammanfalla. Friktionen i lagren gör att en viss excentricitet alltid finns kvar. Finns det skillnader mellan svänghjulets diagonala viktfordelning kan vevpartiet vara i perfekt statisk balans men kan ändå uppvisa vibrationer vid rotation

Dynamisk balansering

Vid dynamiska balanseringen sätts hela vevpartiet i rotation i en maskin och masskoncentrationen pekats ut med hjälp av en punktbelysning. Den beräknade balansvikten är då monterad på vevtappen. Metoden är den tillförlitligaste när det gäller att balansera ett vevparti.

Vid dynamisk balansering är balansvikten:

$$B_w = M_{rec} \cdot B_f$$

Ett intressant fenomen, som har sin förklaring i uppkomsten av resonans, är förhållandet mellan obalansens maxutslag och borttagning av material. Vid det kritiska varvtalet befinner sig maxutslaget 90° efter stället som har för stor massa och som ger impulskraften. Vid låg rotationshastighet är vinkelskillnaden 0° för att sedan med ökad hastighet öka till 90° vid maxutslag. Över maxutslaget ökar vinkeln asymptotiskt mot 180°.

Förändring av svänghjulets massa sker genom att borra i svänghjulet och ta bort massa alternativt lägga till massa genom att borra hål och smälta ner bly i hålet. Man kan lämpligen gånga hålet för att få blytyngden att sitta kvar. Man kan också placera cylindriska volframvikter i hålen. Volfram har ca 2,5 gånger så hög densitet som stål och materialet lämpar sig väl som vikter. När det används som vikter är det ofta legerat med små mängder järn, nickel och koppar för att kunna sintras och formas till vikter. Materialet är i den här förorenade formen mycket svårt att bearbeta. Materialet har den lägsta värmeutvidgning av alla metaller, ca hälften av stål. Det innebär att även om vikten krympts med kolsyra innan de placerats i hålet kan den vid stark uppvärmning av svänghjulet lossna ur hålet som den placerats i. Vikten bör därför ges en svetsinfattning och lämpligen också placeras parallellt med rotationsaxeln.

Volfram kallas på engelska för Tungsten. Grundämnet upptäcktes 1758 av svensken AF Cronstedt. I Sverige använder vi den tyska benämningen Volfram eller Scheelit.

Balansaxlar

Trots en mycket noggrann balansering ger en kolvmotor ifrån sig vibrationer. Anledningen är att i motorn finns två olika typer av rörelser. Kolvarna rör sig upp och ner och vevskivorna roterar. Att få dessa rörelser att vid alla varvtal att ta ut varandra är praktiskt omöjligt.

Det är lättare att balansera en motor med många kolvar. Med fler kolvar så får man fler expansionstakter per vevaxelvarv och en lugnare motorgång. I en motor med två kolvar i rad eller i ett smalt V är det svårt att få en bra balansering enbart genom att ändra den roterande massan i vevpartiet. När det gäller balansering kan en 45° tvåcylindrig motor med gemensam vevtapp betraktas som en motor med en cylinder. Bäst balansering för en tvåcylindrig motor får man med cylindrarna motriktade som i BMW-motorcyklar. Näst bäst är då motorn har en cylindervinkel på 90° som i exempelvis Ducati och Moto Guzzi.

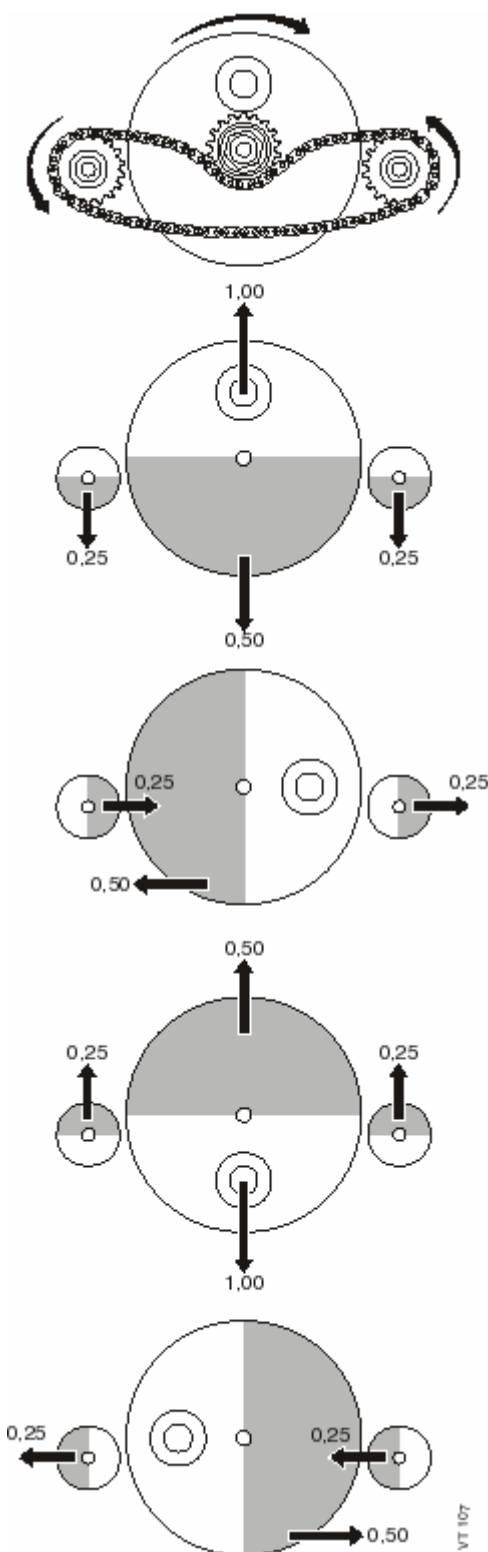
När man väljer att minska vibrationer i en flercylindrig motor med hjälp av balansaxlar inriktar man sig på kolvarnas rörelser. Det man försöker åstadkomma är att motverka de krafter som uppstår då kolvarna vänder vid ÖDP och NDP.

Suzuki Hayabusa GSX 1300R har en motroterande balansaxel som roterar med samma varvtal som motorn. De fyra vikterna är i sina nedre lägen då kolvarna är i ÖDP.

I TC 88B har man valt att använda två balansaxlar och låta de två balansvikterna rotera med samma hastighet som vevaxeln men med motsatt rotationsriktning. Man skapar på detta sätt en motvikt till kolvarna både då de är uppe och nere.

Ett problem är att kolvens hastighet är störst då vevstaken och vevaxeln bildar en rät vinkel. Det inträffar då kolven befinner sig i övre delen av cylinderloppet. Det gör att rörelse-

energin är större före och efter ÖDP än vid NDP. Det innebär att trots att bilden visar en perfekt balansering så gör skillnaden i hastighet och rörelseenergin att det finns en obalans kvar. Det är den som man känner då man kör motorcykeln trots att motorn har balansaxlar.



Balansaxlarna är placerade på en horisontell linje genom vevaxeln och utanför vevpartiet. De roterande balansvikterna drivs av en kedja från vevaxeln. Drivningen av axlarna finns på motorns högra sida innanför kamaxlarna. Drevet på vevaxeln för drivning av balansaxlarna är pressat på plats. Kedjan till balansaxlarna hålls stäckt med hjälp av två hydrauliska kedjespännare. Varje balansaxel är lagrad i två kraftiga kullager. Balansaxlarna axiella läge shimmas in så att dreven befinner sig i rätt linje till drevet på vevaxeln.

Om man vid service tar bort balansaxlarna så måste de vid hopsättningen monteras i exakt rätt position. De måste både stämma med vevpartiets läge och vikternas radiella läge måste vara rätt. För den första inställningen finns kopparfärgade markeringar på kedjan och index vid kugghjulen. Den radiella inställningen av vikterna sker med hjälp av sprintar som vid monteringen håller vikterna i rätt läge.

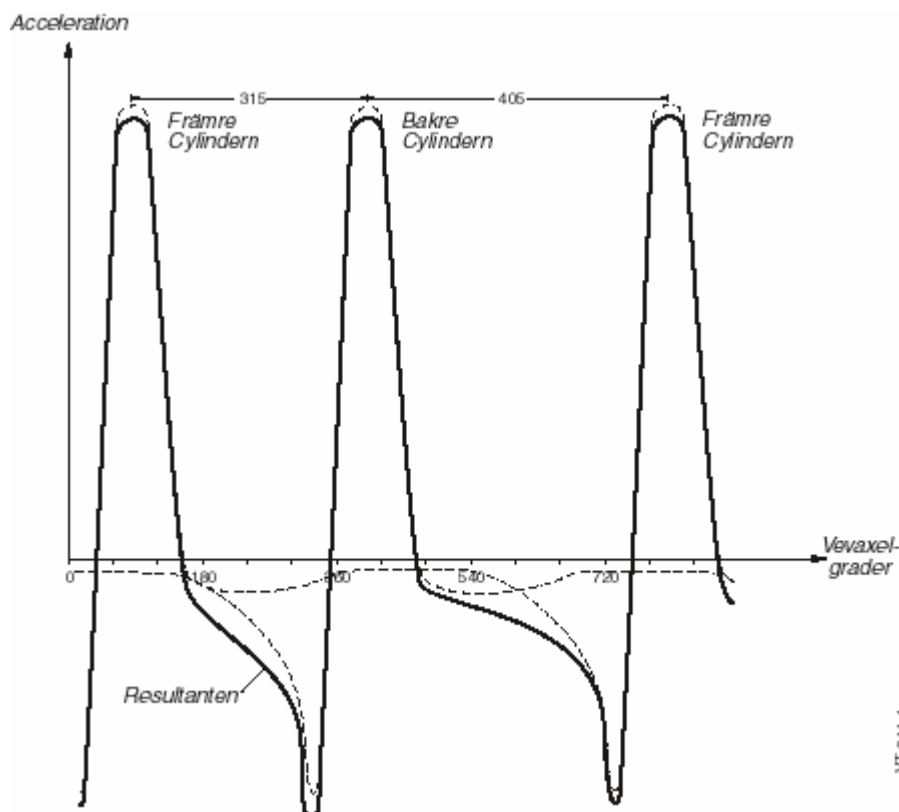
Det är viktigt att de hydrauliska kedjespännarna får sin smörjning med olja. Den sker från yttre delen av vevhuset genom en gummigenomföring till stödgaveln för balansaxlarna och vidare till spännarna. Vid montering av balansaxlarna ska man genom att trycksätta utloppet från yttre vevhuset kontrollera att passagen till hydraullyftarna är fri och utan läckage. Kontrollen utförs med hjälp av en tryckprovare, eng. leakdowntest.

Nackdelen med balansaxlar är att de stjäl effekt. I TC 88B går det åt ca 3 % av motoreffekten för att driva balansaxlarna. Genom balansaxlarna ökar motorns vikt med ca 6 kilo.

Torsionssvängningar

Under expansionstakten utsätts vevaxeln för en kraftig stöt- och vridbelastning. Expansionskraften vrider vevpartiet och vevaxeln. Under de tre påföljande arbetstakterna, som bromsar vevaxelns rotation, utsätts vevaxeln för vridkrafter åt motsatt håll. Om dessa vridkrafter så kallade torsionskrafter

kommer i resonans med vevpartiets egensvängningstal kan detta ge materialutmattning och även knäcka vevaxeln. Minsta brottanvisning gör att axeln mycket snabbt går av. Många "oförklarliga" vevaxelbrott har sitt upphov i växlande vridbelastningar.



Vridbelastningen
på vevaxeln.

Längst ut på vevaxelns vänstra sida finns på H-D en svängningsdämpare. Det förekommer att man också kallar den för ryckutjämnare. Dämparen har till uppgift att utjämna vridbelastningarna som vevaxeln utsätts för. Dämparen är förbunden med vevaxeln genom en axiellt rörlig koppling. Genom kopplingen trycks kopplingshylsan mot fjädrarna i dämparen. Trycket mot fjädrarna och dämparens inkopplinggrad styrs av kuggflankerna beroende på om rörelsen är accelererande som vid expansionstakten eller retarderande som vid de övriga arbetstakter.

Svängningsdämpare som säljs som tillbehör arbetar med friktionsdämpning som originaldämparen, eller med dynamisk dämpning. Friktionsdämpare innehåller ett antal cylindriska rullar som är fjäderinspända och som kan röra sig i avlånga perifera hål. Hållrummets längd är ungefär rullens dubbla diameter. Rullarna kan förflytta sig beroende på om arbetstakten är accelererande eller retarderande. På detta sätt förändras belastningen på vevaxeln och den skadliga vridningsrörelsen motverkas.

Andra svängningsdämpare innehåller friktions- och bromsskivor och som på detta sätt dämpar svängningarna och omvandlar dessa till värme. Det finns även hydrauliska dämpare som arbetar med någon form av flytande medium.

Vid modifiering av primärtransmissionen till kuggrem brukar torsionsdämpningen ofta glömmas bort. Även med denna typ av primärtransmission behövs någon form av svängningsdämpare på vevaxeln.