OPONENTNÍ POSUDEK

Diplomové práce „Návrh vnitřního rámu podvozku typu Jakobs"

Předmětem diplomové práce je rám hnacího podvozku s vnitřním rámem typu Jakobs.

Podvozek je dvounápravový, hnací, typu Jakobs, s vnitřním rámem podvozku, rozchodu 1435 mm a s rozvorem 2700 mm. Výhoda podvozků s vnitřním rámem je značná úspora hmotnosti oproti konvenčním podvozkům s vnějším rámem. Pohon je proveden závěskovou převodovkou a plně odpruženým trakčním motorem. Primární vypružení je tvořeno ocelovou vinutou pružinou, příp. dvojicí pružin v uspořádání duplex, dvojkolí je vedeno ojnicí. Výhoda ocelové primární pružiny je její lineární charakteristika nezávislá na teplotě, vlhkosti, rychlosti zatěžování, stárnutí a dlouhá životnost. Zvláště pro horší kvalitu železničního svršku se ocelový primár chová lépe než pryžový, protože díky lineární charakteristice nedochází ke ztužování, které je u pryžového primáru značné zvláště při vyšší rychlosti zatěžování a ještě se zhoršuje při nízkých teplotách. Nevýhoda je vyšší cena a větší příčné rozměry. Podvozky s vnitřním rámem mají totiž jednu z nevýhod nízkou torzní tuhost primáru okolo osy x, která je závislá na druhé mocnině příčné báze primáru. Tuhost primáru má překvapivě vysoký vliv na celkový součinitel náklonu. Protože má ocelová vinutá pružina větší příčné rozměry, dosahuje řešení s vinutou pružinou menší příčné báze primáru a tím i menší příčné báze podélníků, což ubírá prostor pohonu. Protože je zvoleno vedení dvojkolí ojnicí, je potřeba dosáhnout větší příčné tuhosti primární pružiny, protože samotná ojnice má příčnou tuhost velmi nízkou. Jinak hrozí zhoršení chodových vlastností vozidla při vyšších rychlostech a pro větší hodnoty ekvivalentní konicity. Ocelová vinutá pružina s větší příčnou tuhostí má ovšem ještě větší příčné rozměry než pružina použitá např. pro vedení dvojkolí kývačkou, protože je nutné zvětšit průměr drátu a tím i střední průměr pružiny pro zachování její svislé tuhosti. To vede na další snižování příčné báze primáru. Nízká příčná tuhost primáru může být výhodná pro kyvně uložený pohon, který potom funguje jako dynamický tlumič, ovšem použití otevřeného H rámu toto prakticky vylučuje. Příčná tuhost primáru proto musí být pro zvolenou koncepci vedení dvojkolí podrobena pečlivé analýze. Z tohoto pohledu se mi zdá použitý střední průměr vnější primární pružiny příliš malý. Primární vypružení je doplněno svislým tlumičem, který je umístěný před pružinu ve směru jízdy. Takové umístění je obvyklé u kývaček, pro zvolené vedení dvojkolí ojnicí způsobuje primární tlumič dodatečný klopný moment, který snižuje účinnost tlumení, ložisková skříň má další stupeň volnosti, který je držen pouze torzní tuhostí silentbloku ojnice a ohybovou tuhostí pružiny. Vedení dvojkolí ojnicí se obvykle používá v kombinaci se dvěma flexicoil pružinami, které jsou umístěny po straně ložiskové skříně a svojí podélnou bází tvoří celkem značnou torzní tuhost okolo y, která stabilizuje kývání ložiskové skříně. I tak je vždy snaha umístit primární tlumič do osy dvojkolí, aby měl co největší účinnost a aby se zamezilo dodatečným vibracím, které kývání ložiskové skříně způsobuje. Protože vnitřní rám prakticky znemožňuje umístit primární tlumič do osy dvojkolí, zvážil bych pro další vývoj tohoto podvozku použití kývačky, pokud se neplánuje např. využít ojnice pro radiální stavění dvojkolí.

Sekundární vypružení je provedeno celkem čtyřmi vzduchovými pružinami, což je obvyklé řešení, doplněno torzním stabilizátorem. Protože sekundární vypružení je většinou uložené přímo v ose podélníku nebo jenom s malým vyložením, je i příčná báze sekundáru poměrně malá a použití torzního stabilizátoru je nutné, závisí také na zapojení vzduchových pružin. Torzní stabilizátor je uložený na konzolách vyvedených ze spodní pásnice podélníku. Vyložení páky stabilizátoru z hlavního ložiska se mi zdá příliš velké, torzní tyč je potom namáhaná ohybem a musí mít větší průměr, což má zase dopad na její torzní tuhost. Konzola stabilizátoru by tedy měla mít větší vyložení od osy podélníku. Torzní tuhost tyče má mít správně jednotky Nm/rad – vzorec 5.14. Síla od torzního stabilizátoru Fz_{st} = 2191 N uvedená ve vzorci 5.16 se mi zdá příliš nízká od výjimečného náklonu 2°,

obvykle bývá 10-15x větší. Zřejmě je použita příliš nízká tuhost tyče, je potřeba v návrhu vypružení zkontrolovat součinitel náklonu. Sekundární vypružení je doplněno celkem 6-ti tlumiči, 4 podélné (vrtivého pohybu) a 2 příčné. Svislé tlumiče nejsou přítomné nejspíš z důvodu použití integrovaného tlumiče přímo ve vzduchové pružině. Za vhodné považuji použít pouze jeden příčný tlumič, protože podvozek, resp. jeho 1x vypružené hmoty, potřebuje ke své správné funkci dostatečný počet stupňů volnosti, jak bude také uvedeno u přenosu sil. Z tohoto pohledu se mi zdá použití až čtyřech příčných tlumičů, jak je také uvažováno, méně vhodné, byť by se mohlo zdát, že 4 příčné tlumiče podvozek dobře povedou a budou ho stabilizovat. Bohužel máme opačné zkušenosti z podobných projektů a počty tlumičů je třeba spíše minimalizovat, neboť jinak je podvozek ve svislé směru přetlumen, zvláště pokud jsou přítomny tlumiče podélné. Také je výhodné použít dlouhý příčný tlumič, protože má lepší kinematiku. Podvozek je dále vybaven čtyřmi podélnými tlumiči. Protože se jedná o podvozek Jakobs, je použití čtyř podélných tlumičů (tlumičů vrtivého pohybu) žádoucí. Připojení tlumičů na straně podvozku je třeba umístit co nejblíže k příčné ose podvozku, jak je zde také správně provedeno. Výškově je vhodné umístit připojení podélných tlumičů přibližně do pólu kývání podvozku, jak je opět správně provedeno. Prostor pro matice vnitřních konců tlumičů se mi zdá nedostatečný a doporučuji ho nepatrně zvětšit.

Přenos tažných sil je proveden otočným čepem a pryžokovovými dorazy, které mají určitou malou vůli k otočnému čepu. Toto řešení je velmi výhodné pro dosažení kvalitního svislého chodu podvozku, protože podvozek, resp. jeho 1x vypružené hmoty, se tím podélně uvolní a zvýší se počet stupňů volnosti. Funkce přenosu sil je ovšem zachována. Také považuji za správné použití pouze jednoho robustnějšího otočného čepu než dvou, protože se tím dosáhne úspora hmotnosti a snížení počtu svarů.

Podvozek je vybaven kotoučovou brzdou v kole a kolejnicovou brzdou. Pro hnací podvozky s vnitřním rámem je umístění brzdového kotouče do kola prakticky jediné možné řešení.

Rám podvozku

Rám podvozku je tvaru H, s jedním příčníkem, bez čelníků. Jedná se o tzv. vnitřní rám podvozku. Rám podvozku je tvořen dvěma podélníky, příčníkem a potřebnými konzolami. Podélník je svařenec z několika odlitků a plechů. Centrální část podélníku je tvořena dvěma robustními odlitky. Toto řešení je velmi progresivní, neboť ve stísněném prostoru vnitřního rámu podvozku by svařované provedení vedlo k velmi komplikovaným, tlustým a špatně defektoskopovatelným svarům. Toto řešení se vyplatí hlavně pro větší série a také je velmi výhodné pro svařování na robotu. Součástí centrálního odlitku je konzola pro připojení vzduchové pružiny, konzola brzdy, konzola závěsky, konzola primární ojnice a konzola stabilizátoru. Brzdová konzola je důmyslně tvarovaná a kopíruje tvar podélníku. Z vnitřní strany je připojena konzola závěsky převodovky. Toto řešení považuji za velmi vhodné, protože ve stísněném prostoru vnitřního rámu by bylo připojení konzoly závěsky k příčníku, jak je obvyklé u vnějších rámů, velmi obtížné, téměř nemožné, jak je také vidět na obrázku 3.2. Využívá se tak synergie použití odlitku, neboť připojení konzoly závěsky vede vždy k více či méně komplikovaným svarům, i když je na rámu více místa. Ze spodní pásnice vede konzola primární ojnice. Na vnější stojinu je připojena konzola stabilizátoru. Všechny svary připojení odlitku jsou s plným průvarem. Na vnější straně podélníku je připojen menší odlitek pro uchycení primární pružiny a primárního tlumiče. Svar obou odlitků je jednoduchý, dobře přístupný, s plným průvarem, vhodný pro svařování robotem. Tento menší odlitek by šel řešit i jako svařenec, protože není tak komplikovaný jako předchozí, ale pro větší série je odlitek vhodný, sníží se tím počet svarů na podélníku. Prostřední část podélníku tvoří krátký úsek svařený z plechů. Připojení na příčník je správně provedeno s určitým přesazením svarů stojin a pásnic, aby se snížila pravděpodobnost křehkého lomu. Na tuto prostřední část je přivařena konzola podélných tlumičů, připojená na horní a spodní pásnici, aby měla dostatečnou

tuhost. Hlavní část konzoly tvoří tlustý plech pro vlastní připojení podélných tlumičů s vybráním pro matice. Toto vybrání se mi zdá příliš zavrubované, je potřeba celou konzolu podrobit důkladné analýze zejména na únavovou pevnost, protože síla od tlumičů je střídavá a zejména podélné tlumiče mají charakteristiku podobnou třecímu tlumiči, takže únavové namáhání konzoly je značné. Na spodní pásnici podélníku je přivařena ještě konzola kolejnicové brzdy kombinovaná s konzolou příčného tlumiče.

Příčník tvoří skříňový nosník obvyklého tvaru se středovým otvorem pro otočný čep. Volbu pouze jednoho příčníku považuji za správnou, protože příčník je napojený jednoduše na rovnou část podélníku a sníží se tím počet svarů. Na příčník je připojena konzola motoru tvořená jednou mohutnou deskou vyztuženou žebry. Na desku je připevněn trakční motor několika šrouby, což je jednoduché robustní řešení, při vhodné dispozici šroubů je možné motor vyvázat z kanálu.

Materiály použité pro rám podvozku jsou S355J2 pro plechy a G20Mn5+QT pro odlitky. Správné označení je S355J2+N, protože vhodné tepelné zpracování plechů je normalizační žíhání. Jedná se o nelegovanou jakostní ocel tvářenou za tepla, s mezí kluzu Re = 355 MPa pro tloušťky plechu do 10 mm, se zaručenou vrubovou houževnatostí do -20 °C, lze objednat i pro -30 °C. Při objednávání je potřeba uplatnit některé dodatečné požadavky, např. omezit obsah mědi na max. 0,4 % v rozboru tavby, protože povolený obsah mědi 0,55 % v rozboru tavby v normě EN 10025-2 je příliš velký a může způsobit tzv. pájecí trhliny. Materiál G20Mn5+QT je uhlíková ocel na odlitky legovaná manganem, tepelné zpracování je zrychlené ochlazování a popouštění, nejedná se o pravé zušlechťování, protože obsah uhlíku je pro vytvoření plnohodnotné zákalné struktury příliš malý, nicméně ve struktuře se může vyskytnout bainit a to vyžaduje některé zvláštní opatření při svařování, nutný je předehřev odlitků. Doporučoval bych spíše G20Mn5+N, tedy normalizační žíhání. Oba dva materiály jsou vhodné pro svařování a pro výrobu rámů podvozků kolejových vozidel běžně používané.

Hmotnostní rozbor uvedený v Tab 2.1 je poněkud nejasný. Stěží bude hmotnost prázdného vozidla 31 t, když zatížení na nápravu je 20 t a vozidlo s Jakobsovým podvozkem bude mít minimálně 3 podvozky. Ve skutečnosti je veličina označená jako m_v pouze část hmotnosti vozidla, která zahrnuje řešený podvozek a část hmotnosti obou skříní, která na řešený podvozek působí a to mělo být v hmotnostním rozboru lépe vysvětleno.

Ve výpočtové části mám dále připomínky ke stanovení setrvačných sil od trakčního motoru a brzdové jednotky. Jestliže je uvažováno zrychlení 20g, proč je potom do vzorců 5.1 a 5.2 dosazeno pouze 1,2g? V případě brzdové jednotky je to zanedbatelné, ale v případě trakčního motoru se tím dopouštíme značné chyby. Hodnota 20g předepsaná v normě EN 13749 platí nad primárním vypružením a je dovoleno ji lineárně snížit na polovinu ve středu podvozku. Hodnota 20g je dost přísná, platí pro špatný stav železničního svršku a nebál bych se ji snížit na polovinu nebo i třetinu. Ale hodnota 1,2g použitá ve vzorci je příliš malá.

K výkresu rámu podvozku mám drobnou výhradu ke kótování otvorů konzoly primárního tlumiče a konzoly brzdy. Je vhodné zakótovat bázi otvorů na jedné konzole a nekótovat jeden otvor na jednom podélníku a druhý na druhém, protože obvyklá tolerance os otvorů na jedné konzole je ±0,3 mm a například kóta 1642 vnějších otvorů konzoly brzdy má nepředepsanou toleranci ±1,2 mm podle normy ISO 2768mK, která je v popisovém poli správně předepsána, kóta vnitřních otvorů 1442 má tu samou nepředepsanou toleranci a tím dochází k nežádoucímu řetězení tolerancí. Někdy je v takových případech vhodné použít toleranci jmenovité polohy díry.

Závěrečné hodnocení

I přes moje drobné připomínky hodnotím práci jako velmi zdařilou. Diplomová práce je velmi pěkně upravena, přehledná a vypracována v požadovaném rozsahu. Zvolené téma je poměrně náročné a řešitel si s ním dobře poradil. Oceňuji nepochybně značné množství práce věnované řešení tak náročného úkolu. Pevnostní analýza je provedena v požadovaném rozsahu. Pro případnou realizaci daného podvozku bude třeba pečlivá analýza všech komponentů podvozku.

Výsledné hodnocení: A

V Plzni, dne 26.5.2022

Milan Broch