



МОДЕЛИРАНЕ И ЯКОСТНО-ДЕФОРМАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ДЕФЕКТИРАЛА ЛОКОМОТИВНА КОЛООС

Васко Николов
varnikolov@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“,
гр. София, ул. Гео Милев № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** локомотивни колооси, метод на крайните елементи, безопасност, тягов подвижен състав, железопътен транспорт.*

***Резюме:** В статията е разгледано устройството принципът на работа на ходовата част на локомотиви серия 87. Описани са натоварванията, които действат върху локомотивните оси на тези локомотиви и предаването на въртящия момент от теглителните усилия към ходовите колела и железния път по време на движение. Извършено е пространствено моделиране на локомотивна колоос на локомотиви серия 87. Направен е якостно-деформационен анализ на същата локомотивна колоос, като са дефинирани и разгледани опасните сечения в оста и натоварванията, действащи във всяко от тях. Локомотивната ос дефектира по време на експлоатация, което е недопустимо от гледна точка на безопасността в железопътния транспорт и не бива да бъде допускано при никакви условия и обстоятелства. Поради факта, че съответната локомотивна ос е получила отказ (счупване) в нехарактерна област, са анализирани причините за появяване на отказ в съответната област, причинен от появила се пукнатина, породена от външен фактор. Направен е анализ на получените резултати. Формулирани са изводи от якостно-деформационния анализ и експлоатацията на тези важни за безопасността в железопътния транспорт елементи от конструкцията на локомотива. Дадени са препоръки за по-нататъшна експлоатация, ремонт, поддържане и дефектоскопия на локомотивните оси на локомотиви от серия 87.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Осите на релсовите возила и в частност на локомотивите са едни от най-отговорните и натоварени елементи от ходовата им част и от конструкцията им като цяло. Те предават всички натоварвания от рамата и коша на локомотива на пътя, както и от контакта с релсите на екипажа на возилото, поемат и предават всички натоварвания, възникнали от теглителните сили. Напречните натоварвания и огъващите моменти върху оста представляват винаги динамично натоварване, действащо по симетричен цикъл на всеки оборот при движение на возилото. Освен това осите на двигателните колооси при тяговия подвижен състав получават значителни допълнителни динамични натоварвания от действието на предавателните механизми (колоосните редуктори), разположени между колелата.

Застрашени сечения при осите на подвижния железопътен състав са всички места, в които може да се получи концентрация на напрежения, която да понижи границата на умора на стандартния образец от материала σ_1 до някаква по-малка стойност σ_{1D} за същата стомана, използвана в конкретно място на даден детайл. Това се оценява най-често с т.нар. *ефективен коефициент на концентрация на напрежението* K . Такива застрашени места са преходите от един диаметър към друг и конструктивната форма на закръглението там, както и всички пресови съединения между оста и главините, пренасящи въртящи или огъващи моменти и особено в краищата на главините.

ОПИСАНИЕ НА СЪБИТИЕТО

На 11.06.2021 година товарен влак, теглен от локомотив серия 87, при навлизане в гара Белово дерайлира с четирите си колооси (фиг. 1).

Комисията, назначена за разследване на произшествието, установява, че е скъсана оста на трета колоос на локомотива. Счупването на оста носи характерните белези на разрушаване от умора на материала, но е реализирано в сечение, в което натоварванията са с ниски стойности и не може да бъде причислено към най-застрашените (фиг. 2 и 3).



Фиг. 1



Фиг. 2



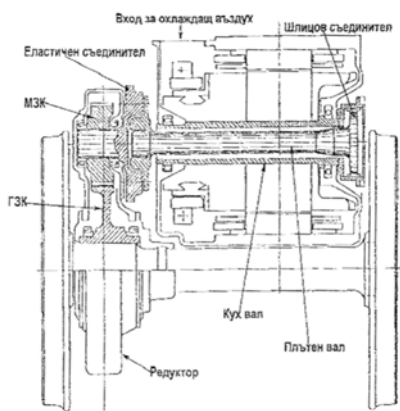
Фиг. 3

ТЕХНИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЛОКОМОТИВА

Локомотиви серия 87 са произведени във Великобритания в периода 1973-1975 година. Те са четириосни електрически локомотиви за променлив ток 25 kV, 50 Hz с постояннотокови тягови двигатели, всеки с постоянна мощност 930 kW (часова мощност 950 kW). Максималната теглителна сила при потегляне е 258 kN, а максималната допустима скорост е 180 km/h. Локомотивите са проектирани и построени за возене на пътнически влакове с висока скорост и относително ниска теглителна сила.

В България се експлоатират от 2012 година от частни жп превозвачи.

Задвижването на осите се осъществява с помощта на опорно-рамно окачен тягов двигател и опорно-осово окачен колоосен редуктор (предавателен механизъм от II род) (фиг. 4 и 5).



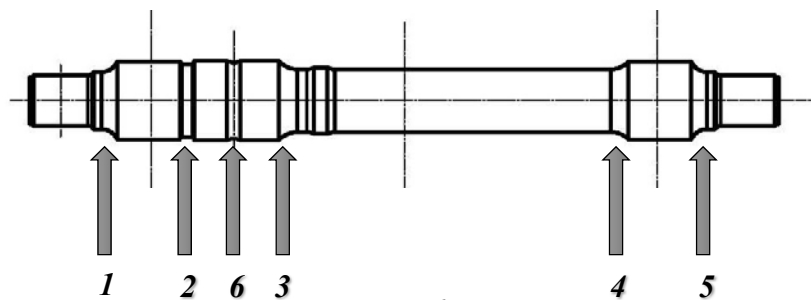
Фиг. 4



Фиг. 5

Застрашените сечения в оста на локомотив 87 са (фиг. 6):

1. Преход от подглавинната част от страната на голямото зъбно колело (ГЗК) към шийката;
2. Преход между подглавинните части на ходовото колело и ГЗК (холкер);
3. Преход от подглавинната част на ГЗК към средната част на оста;
4. Преход от подглавинната част на свободното колело към средната част на оста;
5. Преход от подглавинната част на свободното колело към шийката;
6. Преход между двете части на подглавинната част на ГЗК.

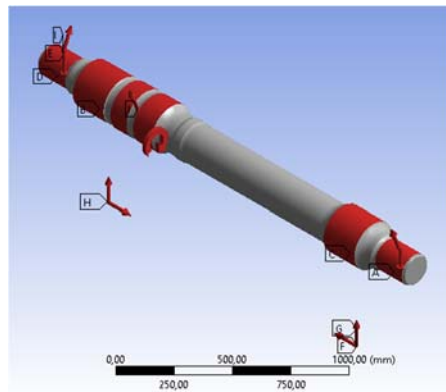


Фиг. 6

РАЗРАБОТВАНЕ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИЯ МОДЕЛ

За нуждите на якостното и деформационно пресмятане е разработен пространствен (3D) модел, с помощта на който максимално точно ще бъде извършен анализ на състоянието на оста. От умелото разработване на модела в значителна степен зависи точността на решението. Това налага конструкцията да бъде анализирана, да се установят основните носещи елементи и да се вземе решение за целесъобразното им представяне чрез подходящи крайни елементи.

Моделът е разработен на базата на схемата на натоварване на локомотивните оси [1]. Взети са под внимание всички натоварвания, действащи върху оста по време на експлоатация – вертикални натоварвания от масата на локомотива, падаща се върху съответната ос; вертикални реакции, действащи върху оста, породени от вертикалното натоварване; хоризонтални надлъжни реакции, действащи върху оста, породени от теглителните усилия; вертикални и хоризонтални напречни реакции, възникващи от съприкосновението на оста (посредством колелата) с железния път; вертикални и хоризонтални надлъжни натоварвания, възникващи в подглавинната част на ГЗК, натоварвания от въртящия момент на тяговия двигател. По този начин той се доближава максимално до реалната конструкция, без излишно допълнително усложняване (фиг. 7).



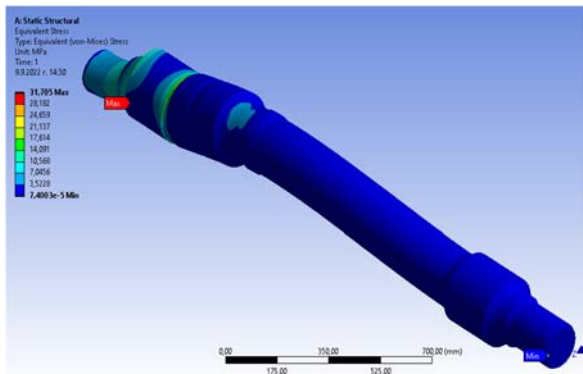
Фиг. 7

ЯКОСТНО-ДЕФОРМАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ОСТА ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

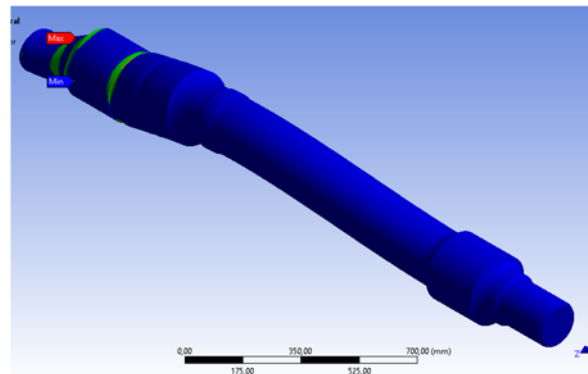
Съобразно разработения модел и натоварването, действащо върху оста, е проведена симулация и якостно-деформационен анализ по метода на крайните елементи (МКЕ).

Получените резултати недвусмислено показват, че оста е проектирана и конструирана правилно, съобразно натоварванията, действащи върху нея по време на експлоатацията, като получените стойности на действащите напрежения са значително под границите на допустимите стойности, а коефициентите на сигурност осигуряват висока надеждност при експлоатация на този важен за сигурността на движението детайл.

Необходимо е да се отбележи, че максималното напрежение, получено при симулацията, се получава в сечение 1 (преходът от подглавинната част на най-натовареното колело към съответната му шийка – фиг.8), а не както се наблюдава при оси на други локомотиви – в прехода между колелото и голямото зъбно колело и където обикновено се получават най-големите напрежения (сечение 2 на фиг. 7). Същото важи и за коефициента на сигурност при умора (фиг. 9).



Фиг. 8. Еквивалентно напрежение, действащо в оста.



Фиг. 9. Коэффициент на сигурност от умора.

Сечение 4 (фиг. 6) е най-слабо натоварено от цялата конструкция на оста и не би трябвало да бъде източник на пукнатини и откази по време на експлоатация.

На базата на проведения якостно-деформационен анализ и на данните от експлоатационната практика на тези колооси, може да се направи изводът, че осите са проектирани и изработени съобразно изискванията на международните нормативни документи и са съобразени с цялостната конструкция на локомотива и неговото предназначение. Необходимо е да се отбележи, че за целия срок на експлоатация на осите на тези локомотиви това е първият случай на отказ в тях, при това в най-слабо натовареното ѝ сечение.

ПРИЧИНИ ЗА ВЪЗНИКВАНЕ НА ПУКНАТИНАТА И СЧУПВАНЕ НА ОСТА

При натоварените елементи на подвижния железопътен състав, към които спадат и локомотивните оси, амплитудите на напреженията са променливи във времето и имат случаен характер. Когато тези амплитуди превишат определена граница, в материала на съответния детайл протича процес на постепенно натрупване на повреди, довеждащ до образуване на пукнатини и внезапно разрушение при достигане на критични размери в сечението. Този процес условно се нарича умора на материала, а получените откази настъпват вследствие недостатъчна динамична якост (съпротивление при динамично натоварване или носеща способност по отношение на умора) [1]. Локомотивните колооси, и в частност локомотивните оси, са един от детайлите, непрекъснато подложени на този вид откази.

При анализа категорично бе установено, че полученият отказ е вследствие развитието на пукнатина, характерна за динамично натоварване и получена вследствие умора на материала (фиг. 3). Логичният въпрос е: защо е получена пукнатина точно в най-ненатовареното сечение на оста?

Причините за поява на пукнатини могат да се дължат на:

- Дефекти в детайла и материала;
- Вече съществуваща пукнатина;
- Повредено (локално отслабено) място.

Възникналата пукнатина по-нататък се развива по законите на динамичното натоварване, т.е. пукнатина от умора на материала.

Дефектите в материала могат да се дължат на:

- Нееднородност в структурата на стоманата, от която е произведена оста;
- Недостатъци и пропуски при изработването на оста – изковаване, струговане, ролкуване, термообработка и др.;

- Недостатъци при монтажа на ходовите колела и голямото зъбно колело от редуктора;
- Други причини, дължащи се на експлоатационни, технологични и монтажни операции.

Нееднородността в структурата на материали, както и други недостатъци в материала, от който са произведени осите на тези локомотиви, е малко вероятна причина, защото това е едва първата ос, която получава отказ от началото на производството им. Характерно за производството на локомотивни оси е това, че те се произвеждат на серии от големи плавки и ако тази причина съществуваше, положително този отказ щеше досега да се е появил и при други детайли.

Пропуските при изработването на оста също не могат да бъдат посочени като причина за отказа, защото при такива пропуски обикновено отказите са проявяват на доста по-ранен етап от експлоатацията им (пример: локомотиви серия 46 на БДЖ).

Недостатъците при монтажа се проявяват при запресоване и разпресоване на ходовите колела. При тези локомотиви колелата са изработени от един къс стомана – т.нар. *моноблокови колела*. Това налага честа смяна на колела вследствие износването им. Съединението между оста и ходовите колела по принцип е студено пресова сглобка, реализирана на хидравлична преса (*надлъжно запресоване*). По същия начин се осъществява и разпресоването им. Това би било причина с достатъчно голяма вероятност за появяване на пукнатина в разглежданото сечение. Тъй като поддържането на тези локомотиви се осъществява в завод, който използва друга технология – горещо пресово съединение между оста и колелата (*напречно запресоване*), тази причина също отпада, защото при нея не се появяват надлъжни сили в оста, които биха породили такава пукнатина.

Появата на пукнатината по време на експлоатация също не може да бъде причина, защото при монтажа си в талигата оста е защитена от кожух, който я предпазва от външни влияния при работа на локомотива (фиг. 5).

Като най-вероятна може да бъде посочена технологична причина, получена по време на извършване на технологични операции при ремонта и формирането на колооста. Това може да бъде изпускане на оста на земята или върху някакъв предмет, изпускане на някакъв предмет (най-често метален) върху оста и др.под.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Локомотивите от серия 87 са в експлоатация по нашата жп мрежа от 12 години, като преди това са натрупали достатъчно голям пробег по железопътните линии във Великобритания. През целия им експлоатационен срок не е наблюдаван подобен отказ в този възел от конструкцията им. Това е ясен показател, че осите на тези локомотиви са с достатъчно висока надеждност и че разглежданият отказ е по-скоро инцидентен отколкото израз на закономерност. Направеният анализ на причините за възникване на отказа, както и якостно-деформационният анализ с помощта на МКЕ показват, че сечението, в което е получен отказът, е най-малко натоварено от цялата конструкция на оста и на практика не би трябвало да се получи именно там.

В същото време е необходимо да се обърне внимание на транспортирането на оста при нейните ремонти от една позиция до друга и да не се допускат събития, които биха могли да доведат до появяването на подобни пукнатини. Веднъж появили се, тези пукнатини се развиват като пукнатини от динамично натоварване и неизменно водят до разрушаване на оста.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Димитров, Ж. Надеждност на железопътната техника, ВМЕИ „В. И. Ленин“, С. 1988.
- [2]. Николов, В. Изследване на факторите, влияещи на дълготрайността на локомотивните колооси, С. ТУ, 2008.
- [3]. UIC Code 515-3. Rolling stock. Bogies – Running gear. Axle design calculation method. 1994.

MODELING AND STRENGTH-DEFORMATION ANALYSIS OF A DEFECTED LOCOMOTIVE AXLE

Vasko Nikolov
varnikolov@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev str. Sofia,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *locomotive wheelsets, finite element method, safety, traction rolling stock, railway transport.*

Abstract: *The article examines the device, the principle of operation of the undercarriage of the 87 series locomotives. The loads that act on the locomotive axles of these locomotives and the transmission of the torque from the traction forces to the running wheels and the railway during movement are described. Spatial modelling of a locomotive track axle of locomotives series 87 was carried out. A strength-deformation analysis was made of the same locomotive track axle, defining, and considering the dangerous sections in the axle and the loads acting in each of them. The locomotive axle defects during operation, which is unacceptable from the point of view of railway safety and should not be allowed under any conditions and circumstances. Due to the fact that the relevant locomotive axle has failed (broken) in an uncharacteristic area, the reasons for the appearance of failure in the relevant area, caused by a crack that appeared caused by an external factor, have been analyzed. An analysis of the obtained results was made. Conclusions are formulated from the strength-deformation analysis and the operation of these elements of the locomotive construction, which are important for safety in railway transport. Recommendations are given for further operation, repair, maintenance, and inspection of locomotive axles of 87 series locomotives.*