

FRI-1.202-1-MR-08

RESEARCH ON RAIL DEFECTS DETECTION WITH NON-DESTRUCTIVE TESTING¹¹

eng. Borislav Valchev, PhD Student

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 701

E-mail: bvalchev@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Daniel Bekana, PhD

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82 888 701

E-mail: dbekana@uni-ruse.bg

Abstract: Rail is one of the main elements of railway transport. As the weight of the trains rests on a very small part of the rail surfaces, railway tracks require considerable monitoring and maintenance. It is well known that:

a) rails are subjected to intense bending and tangential stresses, plastic deformation and abrasive wear, leading to progressive deterioration of their structural integrity;

b) the rails may have internal manufacturing defects not detected by performance control during their manufacture.

All this can lead to the destruction of rails and, respectively, to the derailment of a train with potentially catastrophic consequences (disruption of traffic, possible losses of rolling stock material and even human animals, etc.).

In this work, an analysis of the structure of rail defects and methods for their detection and the tendency to improve these methods is regarded. The results of the research of the railway in Northern Bulgaria in the Ruse region (part of the Gorna Oryahovitsa region) are given.

The results of the ultrasonic non-destructive testing of defects are analysed and conclusions are drawn.

Keywords: rail defect detection; sensory system; railway sensors, ultrasonic non-destructive testing.

ВЪВЕДЕНИЕ

Железопътните релси са един от основните елементи на железния път. Тъй като теглото на влаковете лежи върху много малка част от релсовите повърхности, железопътните линии изискват значителен мониторинг и поддържане (Zumpano, G., M. Meo, 2006).

а) релсите са подложени на интензивни напрежения на огъване и тангенциални такива, пластична деформация и абразивно износване, което води до прогресивно влошаване на тяхната структурна цялост (Ferreira, L.; M. Murray, 1997);

б) релсите могат да имат вътрешни производствени дефекти, които не са открити чрез контрол на качество по време на тяхното производство.

Всичко това може да доведе до разрушаване на релсите и респективно до дерайлиране на влак с потенциално катастрофални последици (нарушаване на движението, възможни загуби на материал от подвижния състав и дори на човешки животи и др.).

От световния опит се вижда, че през Октомври 2000 г. високоскоростен влак дерайлира на по-малко от един километър южно от гара Хатфийлд близо до Лондон във Великобритания. В резултата на което четирима пътници са убити и повече от седемдесет души са ранени. Причината за инцидента е разрушаване и последващо раздробяване на външната релса на циркулярна крива.

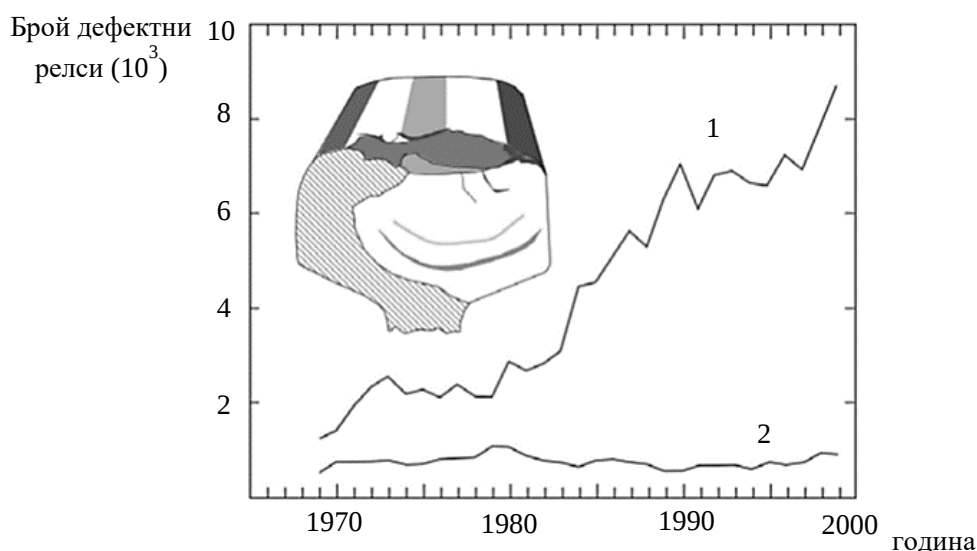
¹¹ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Ремонт и надеждност“ на 27 октомври 2023 г. с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ ДЕФЕКТИТЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИ РЕЛСИ С БЕЗРАЗРУШИТЕЛЕН КОНТРОЛ

Изследванията разкриват многобройни пукнатини от умора на материала на релсите на този участък. Когато една от тях проникне в шийката и петата на релсата, това довежда до ударен ефект, водещ до разширяване на съседни пукнатини и по този начин до счупване на цяла релсова секция (Zumpano, G., M. Meo, 2006). Обикновено счупването (разрушението) на релсата няма да има толкова драстични последици. Независимо от това, първостепенна цел на всяка железопътна компания по света е избягването на счупване на релси. Smith (Smith, R. A., 1998), събирайки данни от различни източници, предоставя сравнение на честотата на счупванията на различни релси на железопътни компоненти във Великобритания в края на 19 и края на 20 век (Табл. 1). Въпреки че списъкът със мерките за сигурност е обект на несигурност, той може да заключи следното: „... ясно е, че докато откази на колела и оси са намалени с коефициент 20 през последния век, отказите на релси на линеен километър всъщност са се увеличили с коефициент повече от 2“. Причините за тази тенденция са по-големите натоварвания на осите, увеличените обеми на трафика и аксиалните напрежения на опън при ниски температури, дължащи се на безнаставни (заварени) релси. (Zerbst, U.; R. Lunden, K. Edel, R. A Smith, 2009; The Derailment at Hatfield, 2006; Smith, R. A., 1998).

Таблица 1. Механични откази на Великобританска ЖП мрежа през 1881 – 1890 и 1992 – 1994 (106/влак km) (Smith, R. A., 1998)

Компоненти	Години	
	1881 – 1890	1992 – 1994
Колелета	2,0	0,04
Оси	0,8	0,04
Релси	0,7	1,5

Тридесет годишна статистика, обхващаща времето от 1969 до 1999, дава среден брой от 767 ± 128 разрушени (счупени) релси годишно в британската железопътна мрежа (Zumpano, G., M. Meo, 2006). Системите за тежкотоварни превози с техните големи осови натоварвания са значително по-засегнати от системите с преобладаващ пътнически транспорт (Sawley, K., R. Reiff, 2000). В (The Derailment at Hatfield, 2006) авторите дават приблизителна цифра на икономическите разходи за счупване на релси и тяхното избягване: 2000 милиона евро годишно само в Европейския съюз.



Фиг. 1. Зависимостта на дефектите и разрушенията във време:
1 – Дефектни релси; 2 – брой счупени (разрушени) релси

Положителна тенденция, открита по отношение на споменатата британска мрежа е, че докато степента на откриване на дефектни релси, които след това трябва да бъдат отстранени, се увеличава непрекъснато през разглеждания период, броят на счупванията е практически постоянен (фиг. 1).

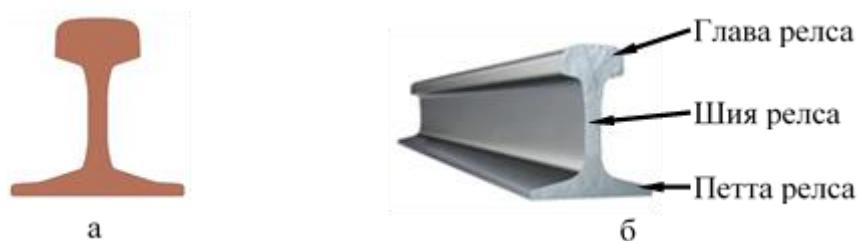
Този факт показва, че мерките за противодействие, като безразрушителен контрол и периодично шлифване, са донесли значително подобрене към предотвратяване на отказа. От друга страна, изискванията към мрежите като увеличен обем на трафика и по-високи осови натоварвания и др. постоянно нарастват. Следова телно, разпространението на пукнатини от умора в релсите остава важен въпрос както по отношение на количественото разбиране на механизмите, така и по отношение на разработването на процедури за анализ на практическо приложение.

В тази работа се разглежда анализ на структурата на железопътните дефекти и методите за тяхното откриване. Представени са резултатите от изследванията на железопътната линия в Северна България в ЖП Район Русе.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Дефекти на релсите

Напречното сечение на релсата е представено на фиг. 2. Релсите в миналото са били свързвани една с друга с помощта на наставови скрепления – **Наставов релсов път**. Тази процедура се заменена с различни видове заварки на релсите една с друга, така наречения **Безнаставов релсов път**. Това позволява разработването на дълги и непрекъснати участъци от релси.



Фиг. 2. Представяне на терминологията, обичайно възприета при описанието на релсите:
а) напречно сечение; б) референтни равнини.

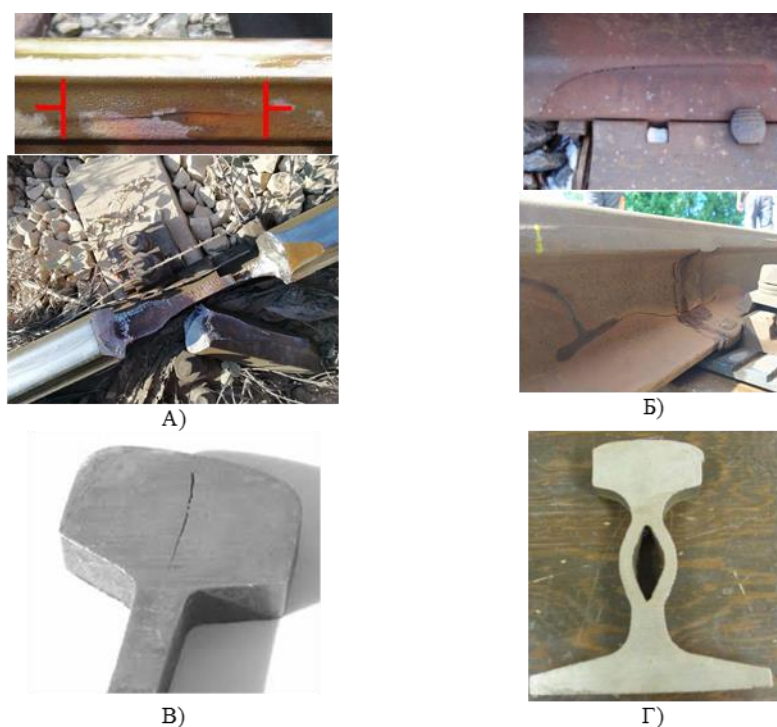
В техническата литература са приети различни класификации на дефектите на релсите. Според (Sadeghi, J. M., H. Askarinejad, 2011), дефектът на релсовия път може да бъде от геометричен или структурен тип. Геометричните дефекти на релсите са свързани с геометричните условия на формите им. Структурни дефекти на релсите, вместо това се отнасят до лошо състояние на структурни параметри на ЖП Линия (включително на релсите Ghofrani, F., A. Pathak, R. Mohammadi, A. Aref, Q. He, 2019). В тази статия се вземат в предвид само структурни дефекти на релсите - те са разделени на три широки категории, описани по-долу.

Релсови производствени дефекти

Производствените дефекти на релсите обикновено се изразяват във включвания или неправилни локални смесвания в релсовата стомана. Те генерират локализираните напрежения при оперативно натоварване, което от своя страна може да предизвика процес на повреда на релса (Zumpano, G., M. Meo, 2006; Muravev, V. V., E. V. Boyarkin, 2003). Повредите от тази категория включват напречни дефекти (transverse defects - TD) и надлъжни дефекти (longitudinal defects LD) (Zumpano, G., M. Meo, 2006; Abbaszadeh, K., M. Rahimian, H. A Toliyat, L. E. Olson, 2003; Jeffrey, B. D., M. L. Peterson, R. M. Gutkowski, 2000). Първият тип дефекти се състои от прогресивно разрушение, развиващо се в главата на релсата, успоредно на напречната посока (Zumpano, G., M. Meo, 2006) (фиг. 3); последният тип вместо това е представен от вътрешна прогресивна фрактура, разпространяваща се надлъжно в релсите. Надлъжните дефекти могат допълнително да бъдат разделени на вертикални и хоризонтални разделени глави (фиг. 4).



Фиг. 3. Напречни дефекти: (а) пукнатина в глава релса; б) страничен изглед



Фиг. 4. Надлъжни дефекти:
хоризонтални пукнатини (А – в глава релса, Б – между шията и петата на релсата;
вертикални пукнатини (В – в глава релса; Г) в шията на релсата).

Дефекти, дължащи се на неправилна експлоатация или работа с релси

Дефектите, свързани с неправилно използване или работа с релси, обикновено се причиняват от въртене на колелата на влака по релсите (това води до така наречения дефект на колелото, показан на фиг. 5 или от внезапни спирачки на влака (Zurpano, G., M. Meo, 2006).



Фиг. 5. Дефекти на релси при деформация от колело.

Дефекти, дължащи се на износване на релсите и умора

Дефектите от износване и умора на релсите се дължат на механизми за износване на повърхността на търкаляне и/или на умора. Добре известни примери за тази категория са: (а) гофриране; б) умора от контакт при търкаляне (rolling contact fatigue - RCF); в) пукнатини от отвори за болтове за свързване на релсите (The Derailment at Hatfield, 2006).

Гофрирането е свързано с износването на главата на релсата (Vadillo, E. G., J. A. Tarrago, G. G. Zubiaurre, C. A. Duque, 1998) и не компрометира безопасността при търкаляне, но засяга както елементите на железния път, така и подвижния състав, тъй като увеличава генериране на шум, натоварването и умората (Bohmer, A., T. Klimpel, 2002).

Повредите от контактна умора при търкаляне са много по-тежки от гледна точка на целостта на конструкцията, тъй като могат да доведат до пълна повреда на релсата (Cannon, D. F., K. O. Edel, S. L. Grassie, K. Sawley, 2003; Cannon, D. F., H. Pradier, 1996; Grassie, S., P. Nilsson, K. Bjurström, A. Frick, L. G. Hansson, 2002). Независимо от всеки дефект на материала, пукнатините от умора започват върху (или много близо до) повърхността на релсата (Cannon, D. F., H. Pradier, 1996).

Повредата умора от контакт при търкаляне (RCF) може да бъде допълнително разделена на: (а) износване и евентуални пукнатини от умора; б) лющене; (в) деформация - фиг. 6 (Australian Rail Track Corporation, 2006). Честотата на поява на RCF е пропорционална на скоростта на влака или на неговото тегло (Zumpano, G., M. Meo, 2006). За да се противодейства на RCF, дефектната релса може да бъде преждевременно отстранена в най-тежките случаи или шлифувана, за да се отстрани пукнатината, иницирана от повърхността. Работната повърхност може също да се смазва. Въпреки това се смята, че улавянето на течност в метал може да ускори растежа на иницирана от повърхността пукнатина (Cannon, D. F., K. O. Edel, S. L. Grassie, K. Sawley, 2003).



Фиг. 6. Дефекти, произтичащи от RCF:

- а) износване на ъглите при глава релса и счупвания; б) откъртване; в) отлюспване;
- г) странично износване; д) уред за измерване на профила на релсите използван в БДЖ;
- е) измерване на профила на релсите с профиломер

В наставовия железен път се появяват пукнатини в зоната на отворите за наставовите болтове, показано на фиг. 7. Те произхождат от повърхността по-близо до отворите за болтове и се разпространяват под $\pm 45^\circ$ ъгъл от вертикалата нагоре до достигане на ъгъла на глава релса. Тези дефекти могат да произхождат от уморни пукнатини, причинени от стеблото на болта срещу повърхността на отворите за болтове (Zumpano, G., M. Meo, 2006).



Фиг. 7. Пукнатини в отвори за болтове

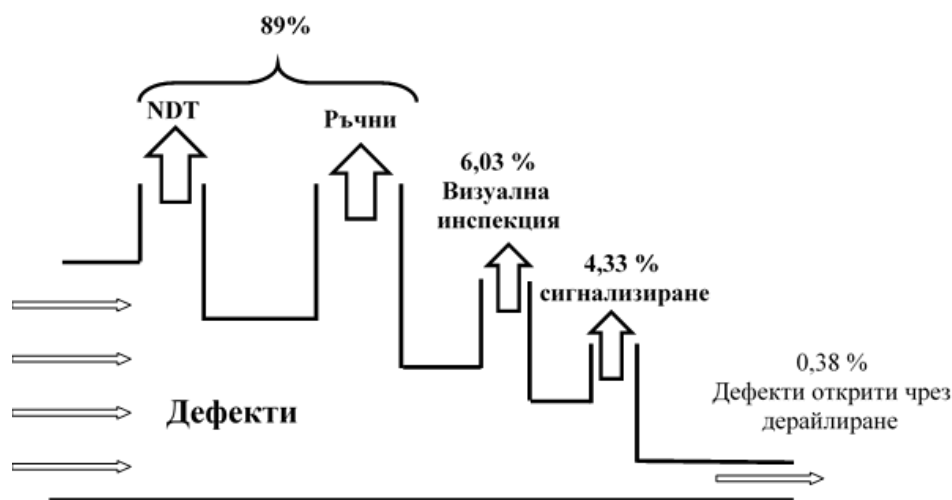
Методи и средства за Безразрушителен контрол на железопътни релси

За да се повиши надеждността на железопътната мрежа и да се подобри ефективността на процедурите за поддържане, релсите се инспектират на редовни интервали от време за вътрешни и повърхностни дефекти, както и деформация и износване на профила на релсите, липсващи скрепителни елементи, повредени траверси и необичайни промени в релсовите габарити. Железопътните релси обикновено се инспектират визуално от подходящо обучен персонал (ЖП Кантонер, Техник Ръководител Група, Нач. ЖП Участък, Контрольор Железен Път и др.), които върви и обхожда поверените му ЖП Райони, отбелязва констатираните дефекти, което е сравнително субективна процедура, която понякога може да включва грешки и пропуски, и не предоставя никаква информация по отношение на наличието на вътрешни дефекти или повредени траверси.

В нашите дни ускоряващата се деградация на железопътните релси създава много проблеми за железопътните инженери, тъй като железопътните конструкции се влошават поради ежедневната експлоатация. Освен това неравностите на терена, релсите или характеристиките на пътя значително влияят върху възникването на дефектите. По този начин оценката и определянето на състоянието на железопътните релси е от голямо значение за инженерите по ЖП, особено в потенциални рискови зони. Все пак данните за структурната изправност и износването на железопътните релси са много ограничени. Освен редовните визуални инспекции от служители на терена, на площадките на релсите редовно се извършват проверка за деформация на релсите. Тестването за деформация (Corrugation) се извършват само с отделни релси и само горната повърхности на главите на релсите. Ето защо, за да се установи състоянието на железопътните релси, които са постоянно подложени на вибрации, причинени от ЖП състав, трябва да се извърши динамично изпитване на релсите, при които динамичните свойства могат да бъдат извлечени и оценени от вибрационните реакции на ЖП Конструкции. Трябва да се отбележи, че тези параметри са важни за динамичния анализ и проектиране на структурни системи, които са съвместими с динамични натоварвания, като железопътни релси, мостове или високи конструкции. Резонансите могат да причинят сериозни щети на такива системи (Kaewunruen S., Remennikov, 2006).

Структурното състояние на железопътните релси обикновено не е известно нито преди, нито след процедурите по поддържане. Следователно на практика операциите по поддържане и обновяване обикновено се основават на емпирични критерии. Има нужда от по-добро разбиране на структурните състояния и степента на влошаване, което може да доведе до подобро стратегическо планиране и изпълнение на железопътните линии. За да се увеличи максимално безопасността, като същевременно се минимизират разходите за поддържане и обновяване на железния път, мониторингът и оценяването на структурната цялост на железопътните релси и техните компоненти са наложителни. Проведени са различни научни изследвания и модели за прогнозиране на умора на материала и разпространението на пукнатини в железопътните релси породени от напреженията породени от взаимодействието на релсите с колелетата на подвижния състав, също така причинено от механични натоварвания и процеса на пресоване на колело на железопътния състав, като например използването анализ на 3-D нелинеен модел за напрежение и модел за анализ на елементите (G. H. Farrahi, S. Sohrabpoor, S. M. Salehi, R. Masoudi Nejad, 2015).

Релсите често се проверяват систематично за вътрешни и повърхностни дефекти, като се използват различни техники за неразрушителен контрол (NDT). В нашите дни съществува възможност по време на производствения процес релсите да се проверяват с помощта на автоматизирани оптични камери и системи за измерване на вихрови токове за всякакви повърхностни дефекти и повреди, докато наличието на вътрешни дефекти се оценява чрез ултразвукова проверка. По подобен начин ултразвуковите преобразуватели и сензорите за магнитна индукция са широко използвани от железопътната индустрия за проверка на релси в експлоатация. Съвсем наскоро бяха въведени автоматизирани визуални техники и хибридни системи, базирани на едновременното използване на импулсни сонди за вихров ток и конвенционални ултразвукови сонди за високоскоростна инспекция на железопътни релси. Други NDT техники, като електромагнитни акустични преобразуватели, лазерни ултразвукови, насочени вълни и сонди за измерване на променливо - токово поле, също се разработват за приложение в железопътната индустрия (M. Ph. Papaelias, C. Roberts, C. L. Davis, 2008).



Фиг. 8. Разпределение на потенциалните дефекти на релси, открити чрез използване на различни методи за проверки (Chattopadhyaya, G., V. Reddy, P. O. Larsson-Kraik, 2005)

Видовете методи за дефектоване (в %, фиг. 8), показват процента на потенциалните дефекти (счупвания) на релси по шведската тежкотоварна линия за желязна руда (Malmbanan), които се откриват с помощта на различни методи за дефектоване (Chattopadhyaya, G., V. Reddy, P. O. Larsson-Kraik, 2005). Необходимо е да се намалят неоткритите дефекти, които могат да доведат до дерайлиране. Фалшивото откриване на дефекти също е важен проблем при прозвучаването на релсовите нишки. Тук трябва да се спомене, че анализът е направен на релси от 50 kg, които сега се подновяват с релси от 60 kg.

След разглеждането на разпределението на методите за откриване на дефекти необходимо е разглеждането класификацията на методите за безразрушителен контрол (NDT). В следващите редове се разглежда тази класификация.

Класификация на методите за Безразрушителен контрол на железопътни релси

Най-важните етапи от процеса на оценка на остатъчния живот на риска и обекта на проверка (ОП) трябва да включват не само откриване на дефекти и определяне на техните параметри (измервания на открити дефекти), но също така и по-съществени са:

- откриване на локални зони на развиващи се увреждания – зони на концентрация на напрежението (stress concentration zones - SCZs);
- идентифициране на най-опасните зони на концентрация на напрежението, които са най-вероятните места за повреда на обекта;

- определяне на параметрите на напрегнатото (енергийното) състояние в най-опасните зони на концентрация на напрежението;
- определяне на действителните структурно-механични характеристики на материала в зони на концентрация на напрежението;
- оценка на развитието на щетите.

От това следва, че основната цел на методите за безразрушителен контрол е получаването на информация в необходимия обхват и достатъчна за извършване на изчисления през целия живот и оценка на риска. Това означава, че е необходима 100% инспекция на обекта за гарантирано откриване на най-опасните зони – зони на концентрация на напрежението и развиващите се щети. Понастоящем класификацията на видовете и методите за безразрушаващ контрол в европейските и международни стандарти, въведени за областта на дефектоскопията, има формален характер и разграничава цялото разнообразие от методи и устройства за безразрушаващ контрол по-скоро по начина на идентифициране на прилагания ефект, отколкото по вида на физическите полета.

При класифицирането на известните безразрушаващи и диагностични методи по вида на физическите полета могат да се открояват следните видове: електрически; магнитни; електромагнитни; термични; механични.

В същото време такива добре познати и широко използвани методи като *оптични, радиовълнови, рентгенови, акустични, холографски, капиларни, методи на електрическо съпротивление, тензометрични методи*, както и *методи на моаре, мрежа, фотоеластичност* и други методи също съществуват. Те заемат местата си в тези пет типа.

Принципно важно е, че новите разработени стандарти класифицират методите за неразрушаващ контрол на: **активни** - със създаване в материала на изследвания обект на "принудително" физическо поле с определена ориентация и **пасивни** - използване на собствени физически полета, отразяващи вътрешната енергия на обекта на проверка материал.

Следното може да се отнесе към **пасивните методи за NDT**: автосемисионен метод; метод на акустична емисия; метод на метална магнитна памет (контактен и безконтактен); термичен метод (контактен и безконтактен).

Всички други методи, изброени в настоящата работа, се отнасят към активните методи за неразрушаващ контрол.

Класификацията на методите за безразрушаващ контрол на активни и пасивни формира основата за обективна класификация на откритите дефекти на **опасни** (проявяващи се) и **неопасни** (непроявяващи се). Предложената класификация на методите за безразрушаващ контрол е от решаващо значение за осигуряване на промишлена безопасност на инспектираните обекти при оценка на живота на оборудването, както и оценка на надеждността и рисковете по време на работа на различни промишлени обекти.

На фиг. 9. са дадени методите за прозвучаване на ЖП релси в табличен вид. Включени са всички видове методи за дефектоване на ЖП релси.

В списъка на видовете NDT е необходимо да се включват и такива методи които контролират възникващите стресови напрежения "Stress Control". Различни методи и средства за стрес NDT са широко разпространени в дни. Списъкът на видовете инспекции за обучение на персонала в ISO 9712 „Квалификация и сертифициране на персонала“ включва изпитване с тензодатчици, което очевидно е недостатъчно, тъй като в момента в Европа и по света има голям арсенал от методи и средства за NDT на напрежение и деформация.

Безразрушителното изпитване (NDT) се основава на физически процеси на взаимовръзка между физическо поле или вещество и изпитван обект (ИО). Обикновено се разграничават двесте вида NDT. Те са:

- | | | |
|---------------------|------------------|------------------|
| 1. Магнитни; | 5. Електрически | 8. Радиографски; |
| 2. Вихрови; | 6. Инфрачервени; | 9. Акустични и |
| 3. Високочестотни; | 7. Оптични; | 10. Проникващи |
| 4. Електромагнитни; | | |



Фиг. 9. Методи за дефектоване на ЖП релси

В допълнение, някои други видове NDT са получили признание, като: анализ на вибрации; тестване за течове и интегрирани такива.

Във всички методи за неразрушаващ контрол естеството на взаимовръзките между поле или вещество и изпитван обект трябва се да предвижда, че тестваната характеристика (дефект) на този обект би довело до измерими промени в полето или състоянието на вещество. Понякога физическото поле, използвано за тестване, възниква под въздействието на други свързани физически ефекти

Методи и средства за Безразрушителен контрол на железопътни релси

Прозвучаването на ЖП релси е специфична дейност което се нуждае от квалифициран персонал. Не всички методи на безразрушителен контрол са подходящи за тази дейност.

Изследване на дефектите

Основният метод за контролиране на риска за поява на дефекти на релсите е тяхно тестване. Дерфектоването на релси е непрекъснато проверяване на релсите за откриване на откази, за да се даде време за извършване на коригиращи действия преди функционален ефективен отказ на релси. Коригиращите действия могат да включват защита или ремонт на открити дефекти, отстраняване на дефектни релси от коловоза или временно ограничаване на скоростта на влака.

При изследването са открити различни видове дефекти на релсите и процеси на възникване и развитие. От проучването на литературата и проучванията, направени, се тълкува, че има нужда от по-добро прогнозиране на дефектите на релсите за определен период от време въз основа на работните условия и стратегиите за поддържане на железния път.

Изисква се също добро познаване на риска, както и представа за методите, използвани за анализ на риска. По този начин, преди разработването на какъвто и да е модел или каквато и да е емпирична връзка, свързана с риска, трябва да се познават инструментите за управление на риска, различните начини за свързването му с дефектите. Това изследване се фокусира върху изграждането на основни знания, необходими за установяване на основните видове дефекти кито водят до рискови моменти.

От направените изследвания се вижда, че най-разпространеният дефекти в изследваните 9 и 4 линии в участъците са:

- в глава релса дефекти с код 2221.1, срок за смяна: наблюдение; 2221.2 със срок за смяна 30 дни;
- в глава релса дефекти с код 2203, наблюдаване развитието на неизправността и смяна елемента когато износването на същия превиши допустимите гранични стойности 14 mm;
- в шийка дефекти с код 135.1 при L под 100 mm, срок за смяна 14 дни и дефекти с код 135.2 при L под 100 mm, срок за смяна 3 дни;
- Дефектен елемент (Д) – наблюдаване развитието на неизправността, когато тя е до дълбочина 3 mm и дължина до 50 mm;
- Остродефектен елемент (ОД) – смяна на елемента в срок от един месец с дълбочина по – голяма от 3 mm и дължина по – голяма от 50 mm.

Брой дефекти



Фиг. 10. Зависимост на сумарен брой дефектите във времето от 2017 до 20022

Видове дефекти



Фиг. 11. Видове дефекти на релсите във времето от 2017 до 2022

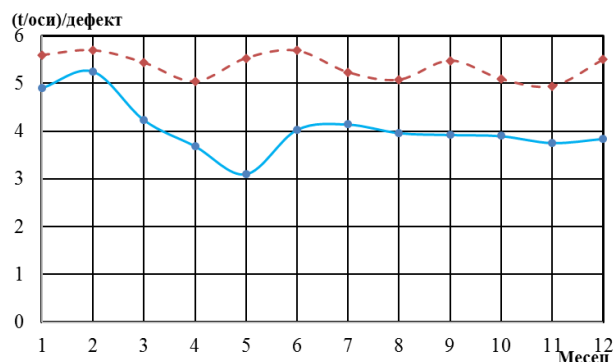
От правилата за организация на безразрушителен контрол на релси, на железопътни стрелки, на заварени съединения и на възстановени чрез напластяване елементи от железния път Раздел II Планиране на дейността по безразрушителен контрол член 8, 9 и 10, издаден от ДП „Национална компания железопътна инфраструктура“ (ДП „НКЖИ“) съобразен с:

1. разгънатата дължина на железния път;
2. изискванията за периодичност на провеждания БК;
3. количеството на подлежащите на контрол заварени настави;
4. количеството на подлежащите на контрол стрелки;
5. количеството на подлежащите на превантивен БК релси, възстановени чрез напластяване, за втора употреба и други;
6. броя и вида на използваната апаратура и нейните възможности за провеждане на надежден безразрушителен контрол.

Данните получени в следващите грфики са извадка от месечни отчети предоставни от Дефектоскопна група при ЖП Район Русе за периода от 2017 до 2022 г.

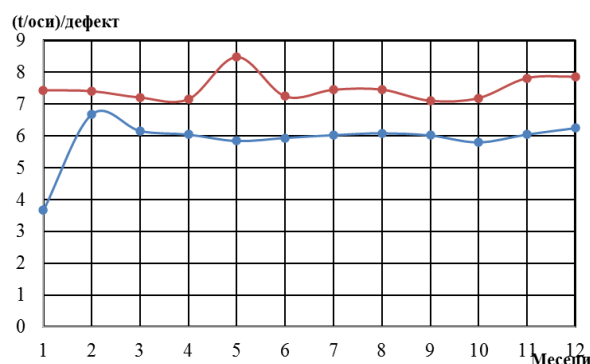
Зависимост на дефектите от натоварването

Очаква се с натоварването на линиите честотата на пшоявата на дефектите да се увеличава. Честотата, при която се провеждат дефектоването на железопътни релси, обикновено варира от една железопътна линия до друга, но обикновено се основава или на време (т.е. определен брой пъти в годината), или на тонажа на трафика (напр. на всеки 20 милиона бруто тона). Железниците са развили своите графици за тестване на релси емпирично, въз основа на десетилетия опит на място. Железниците в България обикновено са склонни да тестват железниците по-често, отколкото се изисква от БДС или наредбата на БДЖ.



Фиг. 12. Интензивност на натоварване на четвърта линия:

—●— 2021; ---◆--- 2022



Фиг. 13. Интензивност на натоварване на девета линия:

—●— 2021; ---◆--- 2022

Изследването зависимост на дефектите от натоварването е един от най - важните фактори при определяне на честотата на дефектоването на релси. Скоростта на нарастване на дефектите на релсите е сравнително бавна в началото, но се увеличава, когато дефектът стане по-голям. Тъй като дефектът на релсата се увеличава, шансът за откриването му се увеличава, но товароносимостта на релсата намалява, което увеличава риска от повреда на релсата.

Изводи

1. За постигане на точен анализ за поява на дефектни релси е необходимо периодичността на прозвучаване на релсовите нишки да бъде завишен.
2. Най-често срещаните дефекти в релсите са съсредоточени в главата и в шийката на релсите, докато констатираните дефекти в петата на релсата са с минимален процент.
 - 2.1. Най-често срещани дегекти в глава релса:
 - в глава релса дефекти с код 2221.1, срок за смяна 30 дни;
 - с код 2221.2 със срок за смяна: наблюдение;
 - **Дефектен елемент (Д)**– наблюдаване развитието на неизправността, когато тя е до дълбочина 3 mm и дължина до 50 mm;
 - **Остродефектен дефектен елемент (ОД)** – смяна на елемента в срок от един месец с дълбочина по – голяма от 3 mm и дължина по – голяма от 50 mm;
 - в глава релса дефекти с код 2203, наблюдаване развитието на неизправността и смяна елемента когато износването на същия превиши допустимите гранични стойности 14 mm.
 - 2.2. Най-често срещани дефекти в шийка релса са:
 - дефекти с код 135.1 при L под 100 mm, срок за смяна 14 дни;
 - дефекти с код 135.2 при L под 100 mm, срок за смяна 3 дни.
3. За намаляване броя на дефекти свързани със страничното износване на релсите в криви с малък радиус е необходимо възстановяването на лубрикатори за смазване.
4. Използваните в ДП „НКЖИ“ уреди за дефектосокопия са остарели. Необходимо е въвеждането на съвремените техники и технологии за дефектоване. По този начин с наличния персонал с подходящо обучение може да се постигне по – голямо покритие и надеждност на резултатите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Необходимо е да се направият зъдълбочени научни изследвания за завишаване периодичността на прозвучаване на релсовите нишки особено в участаци с голямо натоварване.

2. Въвеждане отново на практиката за смазване на релсовите нишки в криви особено с малък радиус.
3. Поддържане на Железния Път в норми.
4. Използване на модернизирани апарати за ултразвукова и др. дефектоскопия.

REFERENCES

- Abbaszadeh, K.; Rahimian, M.; Toliyat, H.A.; Olson, L.E. Rails defect diagnosis using wavelet packet decomposition. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2003, 39, 1454–1461.
- Australian Rail Track Corporation. Rail Defects Handbook-Some Rail Defects, Their Characteristics, Causes and Control. Document RC2400; Australian Rail Track Corporation: Mile End, Australia, 2006.
- Bohmer, A.; Klimpel, T. Plastic deformation of corrugated rails—A numerical approach using material data of rail steel. *Wear* 2002, 253, 150–161.
- Bombarda, D.; Vitetta, G.M.; Ferrante, G. Rail Diagnostics Based on Ultrasonic Guided Waves: An Overview. *Appl. Sci.* 2021, 11, 1071. <https://doi.org/10.3390/app110310714>.
- Cannon, D.F.; Edel, K.O.; Grassie, S.L.; Sawley, K. Rail defects: An overview. *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 2003, 26, 865–886.
- Cannon, D.F.; Pradier, H. Rail rolling contact fatigue research by the European Rail Research Institute. *Wear* 1996, 191, 1–13.
- Chattopadhyaya, G., Reddy, V., and Larsson-Kraik, P. O. (2005). Decision on economical rail grinding interval for controlling rolling contact fatigue. *International Transactions in Operational Research*, 12, 545-558.
- Ferreira, L.; Murray, M. Modeling rail track deterioration and maintenance: Current practices and future needs (*Transp. Rev.* 1997, 17, 207–221).;
- G.H. Farrahi, S. Sohrabpoor, S.M. Salehi, R. MasoudiNejad, Prediction of Fatigue Life in the Railway Wheels Under the Influence of Residual Stress Field, *International Journal of Railway Research*, 1 (6) 2015.
- Ghofrani, F.; Pathak, A.; Mohammadi, R.; Aref, A.; He, Q. Predicting rail defect frequency: An integrated approach using fatigue modeling and data analytics. *Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 2019, 35, 1–15.
- Grassie, S.; Nilsson, P.; Bjurström, K.; Frick, A.; Hansson, L.G. Alleviation of rolling contact fatigue on Sweden's heavy haul railway. *Wear* 2002, 253, 42–53.
- Jeffrey, B.D.; Peterson, M.L.; Gutkowski, R.M. Assessment of rail flaw inspection data. *AIP Conf. Proc.* 2000, 509, 789–796.
- Kaewunruen S., and Remennikov, Non-destructive testing (NDT): A tool for dynamic health monitoring of railway track structures, *Materials Australia*, 39 (6) (2006) 14-16.
- M Ph Papaelias, C Roberts, C L Davis, A review on non-destructive evaluation of rails: State-of-the-art and future development, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* July 1, 222 (4) (2008) 367-384.
- Mayorkinos Papaelias, Clive Roberts and Claire Davis, Rail inspection technology, Centre for Rail Research and Education, University of Birmingham, 2010.
- Murav'ev, V.V., Boyarkin, E.V. Nondestructive Testing of the Structural-Mechanical State of Currently Produced Rails on the Basis of the Ultrasonic Wave Velocity. *Russian Journal of Nondestructive Testing* 39, 189–197 (2003). <https://doi.org/10.1023/B:RUNT.0000009071.94892.15>
- Papaelias, P.; Roberts, M.C.; Davis, C.L. A Review on Non-Destructive Evaluation of Rails: State-of-the-Art and Future Development. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit* 2008, 222, 367–384.

Rizzo, P. Sensing solutions for assessing and monitoring railroad tracks. In *Sensor Technologies for Civil Infrastructures*; Wang, M.L., Lynch, J.P., Sohn, H., Eds.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2014; Volume 56, pp. 497–524.

Sadeghi, J.M.; Askarinejad, H. Development of track condition assessment model based on visual inspection. *Struct. Infrastruct. Eng.* 2011, 7, 895–905.

Sawley, K. and Reiff, R. (2000): Rail Failure Assessment for the Office of the Rail Regulator. An assessment of railtrack's methods for managing broken and defective rails. Report of the Transportation Technology Centre Pueblo, Colorado, USA.

Smith, R.A. (1998): Fatigue in transport. Problems, solutions and future threats. *Trans. Inst. Chem. E.* 76, Part B, 217-223.

The Derailment at Hatfield: A Final Report by the Independent Investigation Board (July 2006), U.K. Office of Rail Regulation (ORR). <http://www.rail-reg.gov.uk/upload/pdf/297.pdf>

Vadillo, E.G.; Tarrago, J.A.; Zubiaurre, G.G.; Duque, C.A. Effect of sleeper distance on rail corrugation. *Wear* 1998, 217, 140–146.

Zerbst, U.; Lunden, R.; Edel, K.-O.; Smith, R.A.: Introduction to the damage tolerance behaviour of railway rails, *Engineering Fracture Mechanics* (2009) Elsevier

Zumpano, G.; Meo, M. A new damage detection technique based on wave propagation for rails. *Int. J. Solids Struct.* 2006, 43, 1023–1046.