

Рис. 2. Эпюра M_x при $y = \frac{a}{2}$

Вывод. Предложенный метод расчета композитных пластинок удобен тем, что уравнение изогнутой поверхности записывается в том же виде как и в уравнении Софи Жермен для однородных пластинок. Это позволяет применять уже известные методы определения функций прогиба для пластинок различной формы с любыми закреплениями краёв.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Амен-Заде Ю.А. Теория упругости [Текст] Ю.А. Амен-Заде. – М.: Высшая школа, 1971. – 288с.
2. Тимошенко С. П. Механика материалов [Текст]: (Учебник для вузов. Специальная литература). 2-е изд. стер. / С.П. Тимошенко; Гере Дж. – СПб: Издательство «Лань», 2002. – 672 с.
3. Чихладзе Э.Д. Основы линейной теории упругости, пластичности и ползучести [Текст]: Учебное пособие / Э.Д. Чихладзе, М.А. Веревичева, Е.И. Галагура, М.А. Ковалёв, Л.Б. Кравцов, Е.В. Опанасенко, А.Н. Петров. – Харьков: УкрГАЗТ, 2010. – 149 с.

УДК 666.96; 666.97

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ПЕРЕДЧАСНОГО РУЙНОВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ

*к.т.н., с.н.с. Коваленко В.В., к.т.н., доц. Заяць Ю.Л.,
асп. Пийнко П.О., Коваленко С.В.**

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,

** ПП «Логія», м. Дніпропетровськ*

Постановка проблеми. Останні роки експлуатації залізобетонних шпал на залізницях України характеризуються значним підвищенням динамічних навантажень на колію. Рік від року ростуть як транзитні перевезення, так і внутрішньодержавні. Нормативний строк служби залізобетонних шпал

дорівнює 50 рокам, але починаючи з 2005 року наново укладені шпали руйнуються протягом 2 – 5 років після встановлення їх на залізничні колії.

Згідно даних, що наведені в літературних джерелах [1], до 50-70 % шпал, що вийшли зі строю під час експлуатації, були укладені із заводськими технологічними дефектами, а 80-90 % дефектів виникають на основних етапах технологічного процесу, таких як армування, формування та термообробка водяною парою.

Метою даного дослідження є визначення причин передчасного руйнування залізобетонних шпал.

Знакоперемінні циклічні механічні та температурні навантаження на залізничні шпали, а також агресивне оточуюче середовище в процесі експлуатації значно прискорюють їх руйнування. Це трапляється в наслідок: розвитку термічних мікротріщин в глибки макротріщини, що магістрально проходять уздовж попередньо напруженої арматури; мікроструктурних напружень, які здатні зруйнувати бетон на дрібні фазові складові (розсипання бетону); вимивання водорозчинного кальцієвого молочка. Зняті з колій Придніпровської та Одеської залізниці залізобетонні шпали, що до повного руйнування експлуатувалися лише 2 – 5 років були вивчені методами макроструктурного, фрактографічного та мікрорентгеноспектрального аналізів.

Виявлені передчасно зруйновані шпали були виготовлені на ВАТ «Коростеньський завод залізобетонних шпал», ЗАТ «Гніваньський завод спеціального бетону». Як показали попередні дослідження бетон шпал на цих заводах при використанні неякісних сировинних матеріалів утворює нестабільні структурні складові. Наслідки процесу корозії бетону досліджували на зразках сколів в зонах руйнування, оцінювали мікроструктурні характеристики та хімічний склад.

Проведемо структурну оцінку найбільш типових зруйнованих залізобетонних шпал ЗАТ «Гніваньський завод спеціального бетону». На рисунках 1–3 наведено макроструктуру шпал цього заводу. Характерні продольні тріщини уздовж проржавілої арматури перемежаються областями повного руйнування бетону – розсипання його на структурні складові з білими зонами, що залиті водорозчинним $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (рис. 3). Вимивання кальцієвого молочка супроводжується зниженням захисної, що до металу, лужної реакції бетону та інтенсивним окисненням арматури, яке послаблює зв'язок з бетонною матрицею.



Рис.1. Передчасно зруйнована підшва шпали виробництва ЗАТ «Гніваньський завод спеціального бетону»

Підшва шпали отримує максимальні механічні навантаження у процесі експлуатації, тому зона руйнування знаходиться у цій частині. В

області злому видно характерні тріщини уздовж арматури скрізь які проходили процеси карбонізації та корозії бетону, окислення арматури та повного руйнування шпали.



Рис. 2. Макроструктура шпали ЗАТ "Гніваньський завод спеціального бетону", що експлуатувалася на Одеській залізниці

Уздовжні та поперечні тріщини на поверхні шпали утворюють сітку, що характеризує зеренну структуру цементного каменю. Характер злому та кольорові округлі плями на бетоні вказують на структурні перебудови в бетоні шпали.



Рис. 3. Макроструктура зруйнованої найбільш навантаженої ділянки шпали рисунка 2.

В області злому (права частина рис.3) видно кольорові округлі плями, що також вказують на процеси рекристалізації пучкоподібного етрингіту. Білуватий відтінок злому (ліва частина рис. 3) вказує на інтенсивне виділення кальцієвого молочка та корозію бетону. Повздовжні тріщини на рисунках 1–3 розшаровують монолітну структуру шпали, прискорюють процеси карбонізації, корозії, проникнення кисню до залізної арматури.

В передчасно зруйнованих шпалах ЗАТ "Гніваньський завод спеціального бетону" можна морфологічно ідентифікувати більшість відомих видів корозії бетону: корозія в результаті розвитку термічних тріщин після термічної обробки, як транскристалітних, так і навколо заповнювачів (рис.4, а, б); розтріскування гелю утвореного на поверхні пісчастих часток в результаті лужно-кремнієвокислої реакції (рис.4, а); розтріскування в результаті рекристалізації крупних кристалів етрингіту (рис.4, в, г); корозія в результаті вимивання кальцієвого молочка з поверхні зломів та тріщин бетону (рис.4, з); інтенсивна карбонізація бетону – утворення кальциту (рис.4, е); розвиток термічних тріщин (рис.4, ж); розшарування структури бетону в результаті низької адгезії та когезії до кристалів слюди (рис. 4, д). Усі вище

згадані види корозії є наслідком технологічних недоліків у процесі виробництва шпал. Так наприклад, термічних тріщин можливо уникнути більш м'якими режимами термічної обробки, активну рекристалізацію еtringіту можливо попередити шляхом модифікування цієї структурної складової, та уникнення додаткових іонів хлору, що інтенсифікують процес рекристалізації шляхом заміщення атомів у рекристалізованих кристалах таумаситу, чи трисульфату кальцію (етрингїту). Активну карбонізацію та збільшення розмірів структурних складових цементного каменю можливо попередити зменшенням водоцементного співвідношення (при замісі бетону використано надлишок води затворювання). Виділення «кальцієвого молочка» попереджається уведенням в склад бетону спеціальних добавок, що зв'язують водорозчинний кальцій в з'єднання, які не є водорозчинними.

Наслідки передчасної корозії та руйнування бетону пояснюються на мікроструктурному рівні. На рисунку 4 наведено мікроструктури зруйнованих областей шпал ЗАТ "Гніваньський завод спеціального бетону" та представлено хімічний склад областей руйнування.

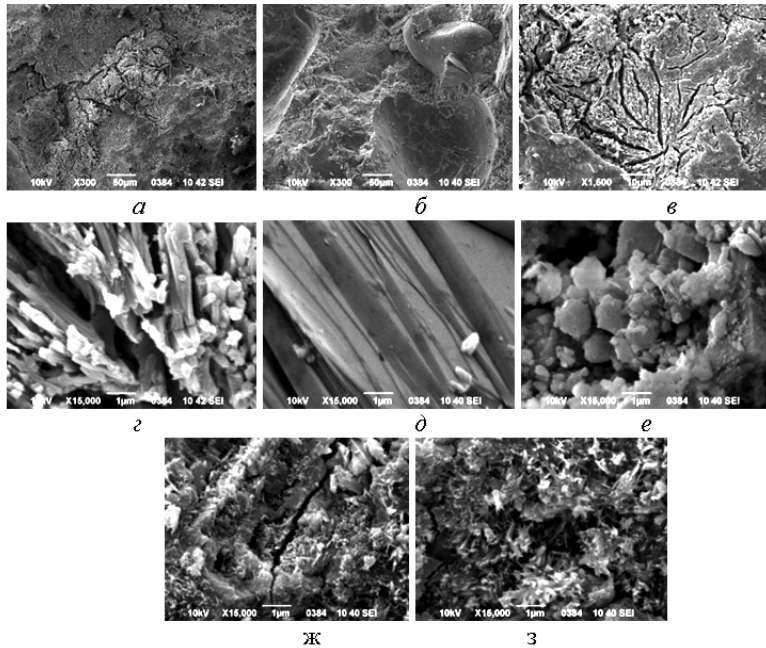


Рис. 4. Мікроструктура зруйнованих шпал виробництва ЗАТ "Гніваньський завод спеціального бетону"

Іншою найбільш дефектною групою виробів є шпали ОАО «Коростеньський завод залізобетонних шпал» (рис. 5).

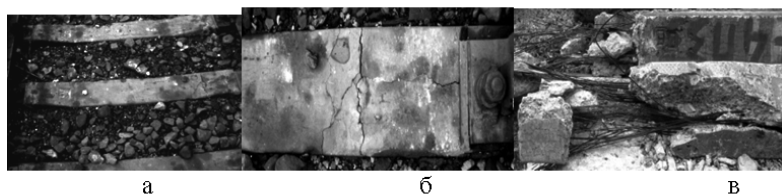


Рис.5. Дефекти шпал виробництва ОАО «Коростеньський завод залізобетонних шпал»

Усі наведені на рисунку 5 дефекти шпал виникли в результаті мікроструктурних у комплексі з макроструктурними недоліками, які можна запобігти упровадженню нових технологічних прийомів та невідхильним дотриманням державних стандартів, що до якості сировинних матеріалів. Повздовжні транскристалітні тріщини виникли в результаті макронеоднорідності залізобетонних шпал в результаті використання значної кількості щебеню фракції вище ніж 10 мм при відстані залізної арматури у середині шпали не вище ніж 15 мм. Інтеркристалітні тріщини виникли в результаті корозії бетону на мікрокристалічному рівні. Морфологічну оцінку структурних складових передчасно зруйнованих шпал проведено на рисунку 6.

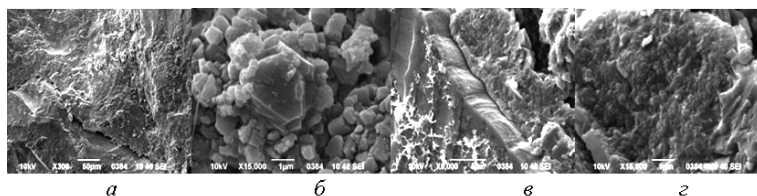


Рис. 6. Мікроструктура зони руйнування шпал виробництва ОАО «Коростеньський завод залізобетонних шпал»

З морфологічного аналізу структур на рисунку 6 видно, що основними механізмами руйнування бетону шпал є розтріскування по границі цементний камінь /заповнювач (рис. 6, а, г). Процес рекристалізації крупних кристалів еtringіту іде паралельно з інтенсивною карбонізацією бетону (рис. 6, г, б). Водночас руйнування цементного каменю іде за рахунок вимивання водорозчинного кальцію на границях цементний камінь/слюда (рис. 6, в).

Оцінка хімічного складу фаз цементного каменю в зоні передчасної руйнації наведено на рисунках 7 – 8, таблицях 1-2.

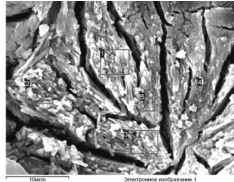


Рис.7 – Скановані спектри дефектних шпал виробництва ЗАТ "Тнівський завод спеціального бетону" з Одеської залізниці

Таблиця 1

Хімічний склад сканованих спектрів на рисунку 1, %мас.

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	57,18	0,65	0	5,5	2,91	9,41	0,68	0,63	22,72	0	0	0	0	0,31	0	0
2	55,10	0,41	0	5,89	0,94	10,1	0,61	0,9	25,03	0	0,11	0	0,59	0,16	0,19	0
3	55,34	0,52	0	5,33	4,14	8,95	0,46	0,51	23,89	0	0	0	0,27	0,58	0	0
4	50,85	0,3	0	4,94	7,83	9,51	0,36	0,18	25,69	0,1	0	0	0	0	0,23	0
5	50,48	0,81	0,15	4,91	5,91	9,45	0,49	0,74	26,13	0	0,12	0,13	0	0,5	0,04	0,14

Як видно з рисунку та таблиці, підвищена концентрація хлору сприяє інтенсивній рекристалізації еtringіту. Масові концентрації елементів на слюдяній поверхні руйнування наведено на рисунку 8, таблиці 2.

Слюда

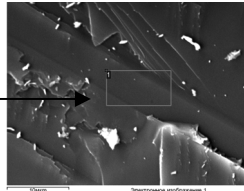


Рис.8 – Скановані спектри дефектних шпал виробництва ЗАТ "Тнівський завод спеціального бетону" з Одеської залізниці

Таблиця 2

Хімічний склад сканованих спектрів на рисунку 6.15, %мас.

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	53,08	4,95	0,02	11,96	25,99	0	0,05	0,13	3,36	0	0	0,08	0,02	0,18	0	0,17

Таким чином, основними причинами передчасного руйнування залізобетонних шпал є структурна корозія бетону, що є наслідком недоліків технології виробництва залізобетонних шпал і вибору неякісних сировинних матеріалів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Золотарський, А. Ф. Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев, Л. Г. Крысанов, В. В. Серебренников, В. Ф. Федулов. –М.: Транспорт, 1980.