



Получена: 17.05.2019 г.

Приета: 14.08.2019 г.

ЛАБОРАТОРНО ИЗПИТВАНЕ НА ФРАГМЕНТ ОТ СТОМАНЕНА ОРТОТРОПНА ПЛОЧА

Л. Георгиев¹, Ст. Иванов², В. Танев³

Ключови думи: стоманена ортотропна пътна плоча, фрагмент, изпитване.

РЕЗЮМЕ

Статията представя информация относно лабораторни тестове на фрагменти от стоманена ортотропна пътна плоча под действие на статично натоварване. Описана е постановката на изпитването, възприетото натоварване, както и използваната апаратура. В заключение са представени получените резултати, както и сравнителен анализ на база на изготвен триизмерен числен модел на образците.

1. Въведение

Стоманените ортотропни пътни плочи (ОПП) представляват относително сложно конструктивно решение на орестрен в двете ортогонални направления, надлъжно и напречно, стоманен лист. Въпреки относително по-високата си строителна стойност в сравнение със стоманобетонните, стоманените ОПП намират сериозно приложение след средата на двадесети век поради това, че са сравнително по-леки. При пътни конструкции със стоманена ОПП могат да бъдат постигнати по-големи отвори и/или облекчаване на долното строене на съответни мостови конструкции.

¹ Лазар Георгиев, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: lazar_fte@uacg.bg

² Стоян Иванов, гл. ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: sdenkov_fce@uacg.bg

³ Вьтю Танев, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tanev_fce@uacg.bg

Строителството на стоманени мостове с ортотропна пътна плоча в Европа е най-масово в средата на миналия век, в периода 1965 – 1980 г., което съвпада със строителството на основна част от пътната мрежа [4, 7].

В същия период се строят и първите мостове с ортотропна плоча у нас, като това са двата моста над стария и новия плавателен канал към Варненското езеро. Първият, т.нар. малък Аспарухов мост, е със сравнително скромен отвор от 32 m (мостът е подвижен и това налага ограничение на теглото) и е пуснат в експлоатация през 1975 г. [6]. През 1976 г. е пуснат в експлоатация Аспаруховият мост над новия плавателен канал, свързващ кв. Аспарухово с град Варна, имащ отвори 100+160+100 m. Следват пътните надлези в гр. Елин Пелин [3] и по бул. „Брюксел“ в столицата, както и двата стоманени виадукта по магистрала „Хемус“ [2]. В края на миналия век, през 1999 г., е пуснат в експлоатация и стоманеният мост при парк „Въртопо“, по който освен пътния трафик преминава и софийското метро. Последното приложение на стоманена ортотропна плоча у нас е на пътния надлез над бул. „А. Ляпчев“ в кв. „Младост“, гр. София, въведен в експлоатация през 2013 г.

С цел да се изследва конструктивното поведение на стоманена ортотропна плоча под действието на печатообразно натоварване (локано огъване) бяха изготвени и изпитани два образеца на фрагменти от ОПП, чиито геометрични размери са подбрани така, че да съответстват на Виадукт 2 по автомагистрала „Хемус“, намиращ се на km 35+760. Причината да се спрем на този мост е, че това е съоръжението с най-голям отвор у нас – 162 m (вж. фиг. 1).

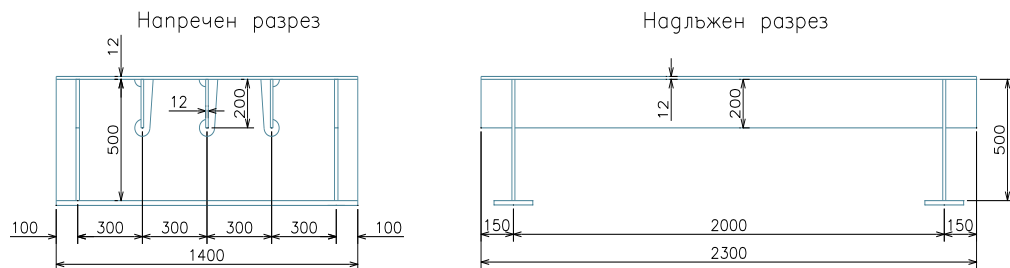


Фиг. 1. Виадукт 2 (100+162+100 m) на km 35+760 по АМ „Хемус“

2. Описание на опитната постановка и образците

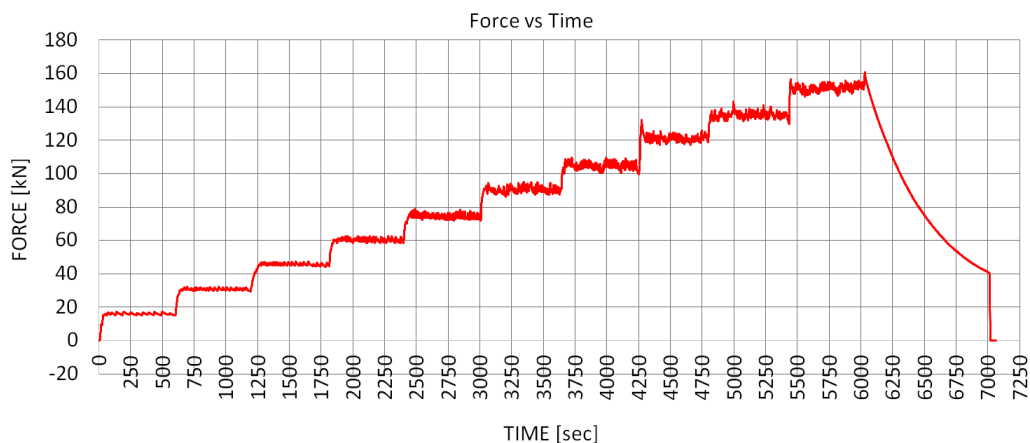
През 2018 г. бяха произведени два идентични образеца на фрагмент от стоманена ортотропна пътна плоча. Фрагментът, в надлъжно направление, представлява част от

ОПП между две напречни греди, в напречна посока са включени пет надлъжни ребра. Размерите на стоманената плоча, на избрания фрагмент, в план са 1400×2300 mm, дебелината ѝ е 12 mm. Разстоянието между напречните греди е 2000 mm. Надлъжните ребра са плоски, с размери 12×200 mm и осово разстояние между тях 300 mm. Напречен и надлъжен разрез е показан на фиг. 2.



Фиг. 2. Геометрия на избрания фрагмент от ортотропна плоча

Избраното натоварване е концентрирана сила, равна на 150 kN, което съответства на характеристичната стойност на колесния товар от една ос на товарен модел ТМ1 – [1]. Силата е разпределена на площ с размери 400×400 mm и е разположена в центъра на образеца. Натоварването е прилагано стъпково, с помощта на хидравличен крик. Интензитетът на всяка стъпка е избран равен на 10% от крайната стойност на товара, а интервалът между стъпките е 10 минути. Графика на изменение на натоварването във времето, за образец 1 е представена на фиг. 3.



Фиг. 3. Графика натоварване-време (образец 1)

Образците са подпрени посредством четири стоманени опори, по две на всяка напречна греда, на разстояние 1400 mm осово, като от едната страна са симулирани неподвижни лагери, а от другата – линейно подвижни в надлъжна посока. Хидравличният крик е подпрян на стоманена опорна рамка, която е анкерирана в силовия под на лабораторията. Печатът е реализиран с помощта на стоманена плоча и гумена подложка. Опитната постановка е представена на фиг. 4.

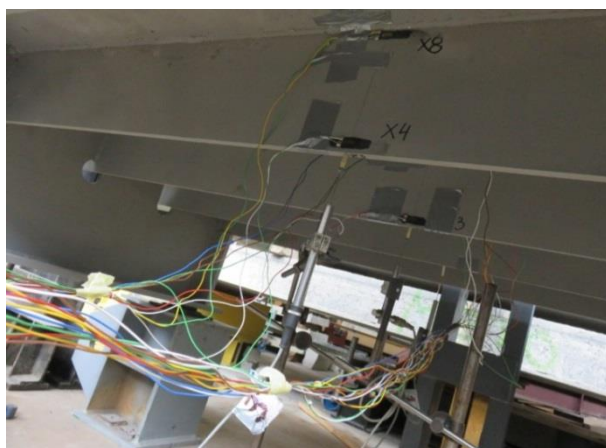


Фиг. 4. Опитна постановка

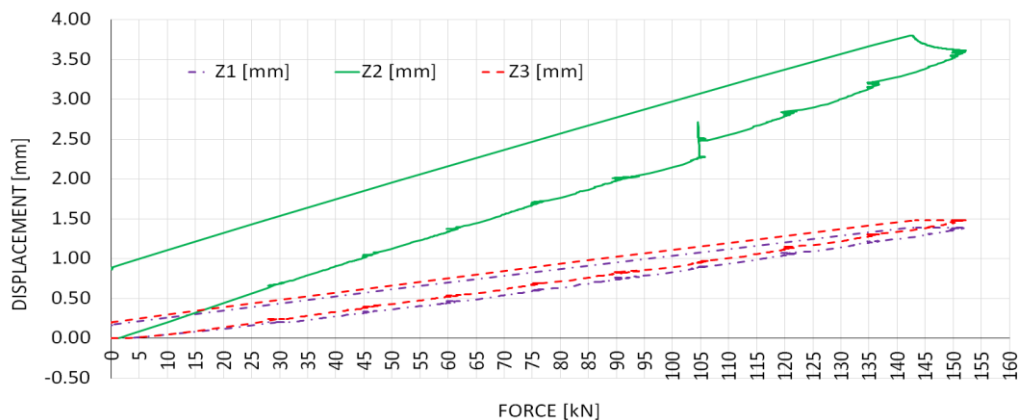
3. Измервателна апаратура

По време на експеримента, и за двата образца бяха измервани както преместванията (провисванията), така и относителните деформации. Преместванията са измерени в средното сечение, под трите вътрешни надлъжни ребра, с помощта на индуктивни датчици за линейно преместване, вж. фиг. 5. Датчикът под средното надлъжно ребро е номериран Z2, а в съседните му две ребра – Z1 и Z3. Освен това, в средата на всяка напречна греда (сеченията при опорите), са измерени също вертикалните премествания. От страната на линейно подвижните лагери е измерено и хоризонталното опорно преместване. Всички опорни премествания са измерени с помощта на часовникови индикатори с точност от 0,01 mm.

Относителните деформации са измерени в средното сечение на образците. Използвани са тензометрични датчици НВМ 1-LY11-10/120. Общият им брой е 12, като разположението им е представено на фиг. 5 и фиг. 6.

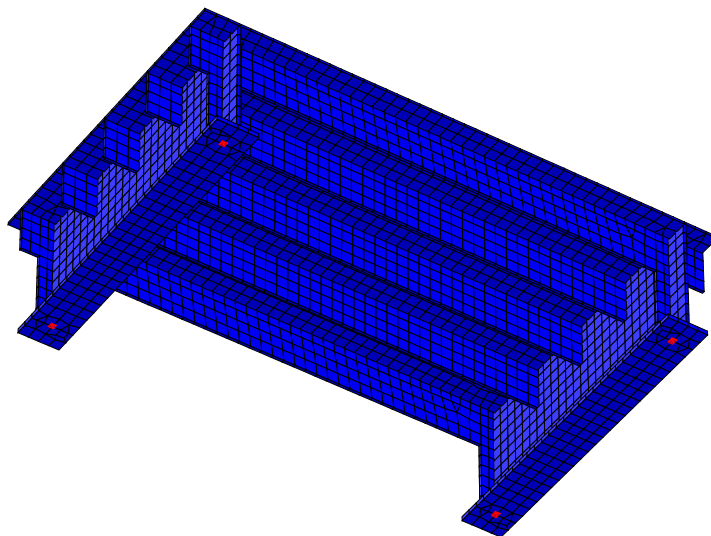


Фиг. 5. Разположение на индуктивните датчици в средно сечение



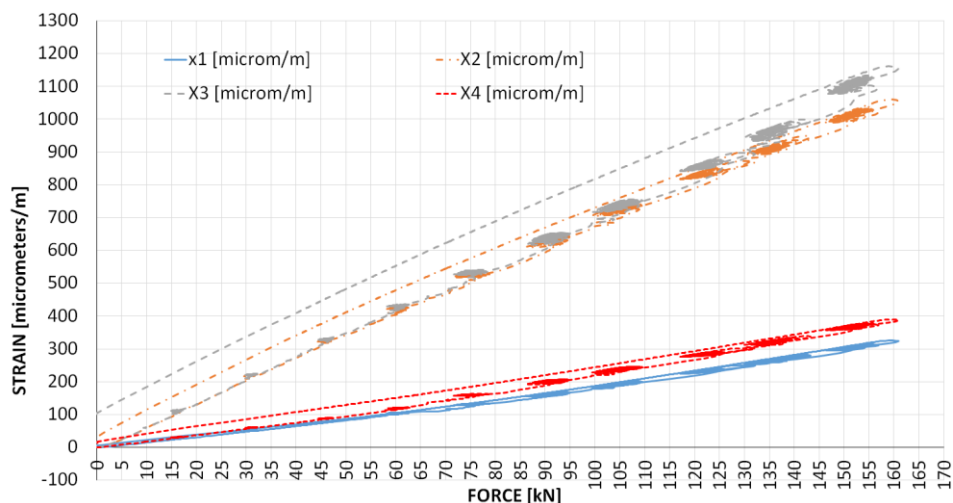
Фиг. 8. Вертикално преместване-натоварване (Образец 2)

Измереното провисване под средното надлъжно ребро, при прилагане на натоварване от 150 kN, е 3,40 mm и 3,50 mm, за образци 1 и 2 съответно. Измереното вертикално преместване при опорите е средно 0,43 mm за образец 1 и 0,50 mm за образец 2. След компенсиране на поддаването на опорите при експеримента, провисването под средно надлъжно ребро възлиза на 2,97 mm и на 3,00 mm, съответно за образец 1 и 2. За сравнение провисването в същата точка от реализирания числен модел [5], при същата стойност на приложението товар, е 2,72 mm. Численият модел на фрагмента от ОПП е реализиран със специализиран софтуер, базиран на МКЕ (фиг. 9). Използвани са само черупкови (SHELL) крайни елементи, както за стоманена плоча, така и за надлъжните и напречни греди. Общият брой крайни елементи възлиза на 3200. Геометрията, опорните условия и възприетото натоварване в числения модел съответстват на тези при опитната постановка. Използваните характеристики на материала са следните: модул на еластичност $E = 210\,000\text{ MPa}$, коефициент на Поасон $\nu = 0,30$ и обемно тегло $78,50\text{ kN/m}^3$.

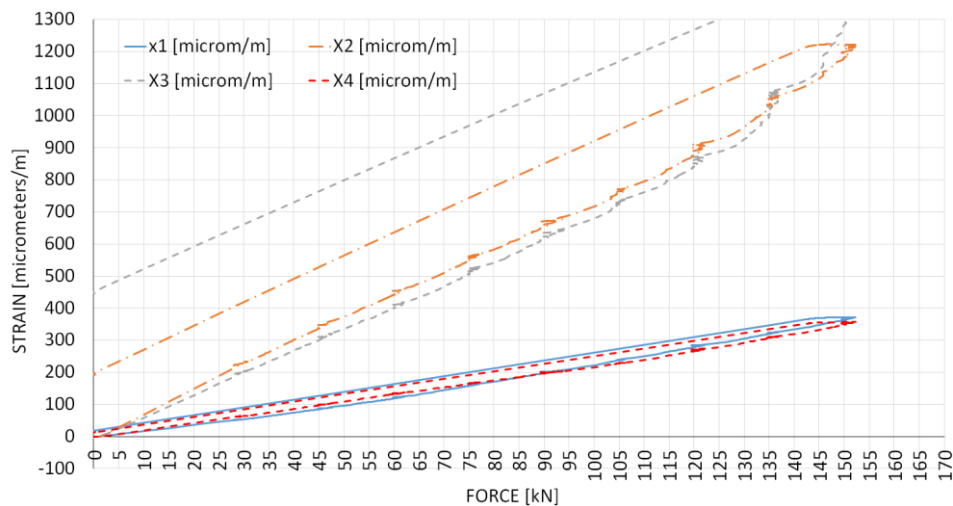


Фиг. 9. Тризмерен числен модел по МКЕ на фрагмент от ОПП

Относителните деформации във функция на приложения товар, отчетени от тензометричните датчици X1, X2, X3 и X4, намиращи се на 15 mm от долния ръб на трите вътрешни надлъжни ребра, са представени последователно за образец 1 и 2 на фиг. 10 и фиг. 11.



Фиг. 10. Относителна деформация-натоварване (Образец 1)



Фиг. 11. Относителна деформация-натоварване (Образец 2)

Относителните деформации в средното надлъжно ребро (X2 и X3), при натоварване от 150 kN, възлизат на 1120 и 1019 $\mu\text{m/m}$ за образец 1, и на 1180 и 1280 $\mu\text{m/m}$ за образец 2. При приета стойност на модула на линейни деформации на стоманата от 210 000 МРа, измерените стойности съответстват на средно напрежение в реброто от 225 МРа за образец 1 и от 258 МРа за образец 2. За сравнение отчетеното напрежение от числения модел [5] в средното надлъжно ребро на разстояние 15 mm от ръба, при същата стойност на приложения товар, е 243 МРа.

5. Заключение

От представените в предходната точка резултати могат да се направят следните изводи:

Получените от характеристична стойност на нормативното натоварване нормални напрежения в долния ръб на надлъжното ребро достигат до границата на провлачане на стоманата. Следва да се отбележи, че тези напрежения са получени само от локална работа на огъване на ортотропната стоманена пътна плоча. Отчитането на разликата в статическата схема на надлъжните ребра при изследвания фрагмент (проста греда) и в реална връхна стоманена конструкция, би довело до по-ниски стойности на напрежения от локална работа в тях. Въпреки това следва да се отбележи, че в зоните на вътрешни опори, където ортотропната плоча изпълнява ролята и на горен пояс на стоманената главна греда, към напреженията от локална работа следва да се добавят и тези от глобална работа на огъване.

Конструктивното поведение на опитните образци, под действие на статично натоварване, е в съответствие с това, получено от изчислителния модел, като разликите в провисванията са под 10%, а разликите в получените нормални напрежения в средното надлъжно ребро са под 8%.

Сравнителният анализ на измерените премествания и относителни деформации показва, че реализираният числен модел [5] е достатъчно надежден с оглед на провеждане на допълнителни анализи при разглеждане на различни варианти на усилване и товарни състояния.

6. Благодарности

Авторите изказват своята благодарност на ЦНИП при УАСГ за финансирането на научноизследователска тема БН-206/18, част от чиято експериментална програма са и представените лабораторни тестове на фрагменти от стоманена ортотропна пътна плоча.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1991-2:2006, Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Част 2: Подвижни натоварвания от трафик върху мостове.
2. *Стайков, П.* Стоманени мостови конструкции по АМ „Хемус” – „Виадукт 1” и „Виадукт 2”. // сп. Строителство, бр. 12/1985.
3. *Partov, D., Ivanov, R.* Design and Construction of the Orthotropic. Steel Deck Bridge in Elin Pelin, Bulgaria. International Orthotropic Bridge Conference, Sacramento, USA, 2008.
4. *Георгиев, Л., Иванов, Ст.* Стоманени ортотропни пътни плочи за мостове – експлоатационни проблеми. // Годишник на УАСГ, 2018, том 51, бр. 4.
5. *Георгиев, Л., Иванов, Ст.* Концепции за усилване на стоманени ортотропни пътни плочи за мостове. X Jubilee International Scientific Conference “Civil Engineering Design and Construction” (Science and Practice), Sept. 20-22, 2018, Varna, Bulgaria, ISSN: 2603-4255.
6. *Partov, D., Ivanov, R., Dinev, D.* The History of the First Orthotropic Bridge in Bulgaria. Proceedings of Third Orthotropic Bridge Conference, California, USA, June 2013.

LABORATORY TESTS OF ORTHOTROPIC STEEL DECK PLATE FRAGMENTS

L. Georgiev¹, St. Ivanov², V. Tanev³

Keywords: orthotropic steel deck plate, fragment, laboratory testing

ABSTRACT

The paper presents information about the laboratory tests of orthotropic steel deck plate fragments under static loading. The test set-up, loading type and application, and the measuring equipment used are described. In conclusion, the results obtained, as well as a comparative analysis based on a three-dimensional numerical model of the samples, are presented.

¹ Lazar Georgiev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: lazar_fte@uacg.bg

² Stoyan Ivanov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Metal, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: sdenkov_fce@uacg.bg

³ Vatyо Tanev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Metal, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tanev_fce@uacg.bg