

**ВЫНОСЛИВОСТЬ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ  
СО СВАРНЫМИ АРМАТУРНЫМИ СЕТКАМИ**

Н.Ю. НОВАК, *м.н.с., инженер*  
Филиал ОАО ЦНИИС НИЦ «Мосты», Москва

*Рассмотрена возможность применения арматурных сеток заводского изготовления, изготовленных контактной сваркой, для плит проезжей части автодорожных мостов. Приведены результаты экспериментальных исследований сварных соединений арматуры и полноразмерных образцов железобетонной плиты. Обоснована возможность применения сварных сеток наравне с «вязаными» каркасами.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** выносливость, железобетонная плита проезжей части, сварка, арматурная сварная сетка.

В течение жизненного цикла транспортные сооружения подвергаются воздействию многократно повторяющихся переменных нагрузок разной интенсивности. Это приводит к появлению в конструкции начальных трещин и последующему их росту и раскрытию, что в конечном итоге приводит к разрушению. Данное явление известно как “усталость”, а способность сопротивляться подобному разрушению называется выносливость.

Расчет на выносливость элементов конструкции мостов практически не менялся в действующих нормативных документах Российской Федерации более 25 лет. Большинство экспериментальных исследований по выносливости в нашей стране датируются 50-80ми годами (ЦНИИС, МИИТ и др.) [2,3,4]. Многие результаты этих работ не нашли отражения в нормативных документах, а ряд положений СП 35.13330.2011 [1] не имеет достаточной опытной проверки.

Исследование сварных соединений арматурных стержней является важной и актуальной задачей в настоящее время и за рубежом. Современные исследования [7,8] направлены с одной стороны на уточнение усталостной работы арматуры, а также на исследование воздействия на выносливость сварных соединений. Однако, следует учитывать иные характеристики зарубежных материалов и производственных процессов, что не позволяет напрямую использовать зарубежный опыт.

В настоящее время в отечественных мостовых нормативных документах при расчете на выносливость существует коэффициент  $\beta$ , учитывающий влияние на условия работы арматурных элементов наличия сварных стыков или приварки к другим арматурным элементам. Он составляет 0.6-0.65 при  $\rho=0-0.4$ . Данные значения коэффициента  $\beta$  приводят к необходимости значительного увеличения количества арматурных стержней или их диаметра, а в сочетании с отсутствием современных исследований по применению соединений, изготовленных с помощью новых технологий контактной сварки, заставили отказаться от применения сварных сеток в плитах проезжей части балок заводского изготовления. Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Мосты» на своей экспериментальной базе в 2013-2014 г.г. провел комплекс исследований и испытаний сварных крестообразных соединений по типу К1-Кт арматуры класса А400 из стали марки 25Г2С и гладкой арматуры А240, а также фрагментов железобетонной плиты автодорожных балок на выносливость [5]. Результаты исследований позволили обосновать новый коэффициент  $\beta$  для современной контактной сварки, проводимой согласно разработанного СТО [6].

Экспериментальная часть работы состояла из двух этапов. Первый этап – испытания арматурных стержней из стали марки 25Г2С класса А400  $\varnothing 12$  и  $\varnothing 14$  мм с приваренным стержнем из стали марки СтЗсп класса А240  $\varnothing 8$  мм на выносливость с последующей регулировкой режимов, а также стержней без сварки в качестве эталонных. Второй этап – испытание на выносливость полно-размерных образцов плиты проезжей части с вязаными и сварными сетками.

Сварные соединения стержней для испытаний были изготовлены на станке - автомате для сварки сеток с регулятором контактной сварки на заводе «МОКОН» (ПАО «МОСТОТРЕСТ»). Все испытания как статические, так и динамические, проводились автором статьи в специализированной лаборатории филиала АО ЦНИИС НИЦ «Мосты» на сертифицированной универсальной испытательной машине МУП-20. Проведены испытания на выносливость шести стержней с одноимпульсным режимом сварки (один импульс сварочного тока) при коэффициенте асимметрии цикла  $\rho=0.2$  и максимальном напряжении в стержне 220 МПа. В процессе испытаний два стержня разрушились, не пройдя 2 млн циклов изменения нагрузки. На основе полученных данных проведена корректировка настроечных параметров регулятора сварки и осуществлен переход на двухимпульсный режим (два импульса сварочного тока, по величине меньше

однократного на 25-30%). Все вновь изготовленные образцы стержней  $\varnothing 12$  с новым режимом сварки при тех же испытательных режимах прошли  $2 \cdot 10^6$  циклов изменения нагрузки и были успешно испытаны статически.

В рамках исследований были проведены металлографический анализ и определена твердость по Викерсу (HV) сварных соединений стержней, прошедших циклическую нагрузку [5]. Один из исследованных образцов показан на рис. 1. В результате было установлено, что в различных зонах сварных соединений структура металла меняется от феррито-перлитной до мартенситной. Это обуславливает увеличение значений твердости металла от 210 HV (основной металл) до 336-545 HV (зона термического влияния) в случае одноимпульсной сварки и до 265-310 HV в случае двухимпульсной сварки, что на 39% ниже. Такое уменьшение твердости означает рост пластичности стали в зоне сварки и, соответственно, приводит к увеличению предела выносливости.

Испытаниями арматурных стержней установлено, что новый двухимпульсный режим привел к значительному снижению воздействия процессов сварки на характеристики рабочей арматуры.

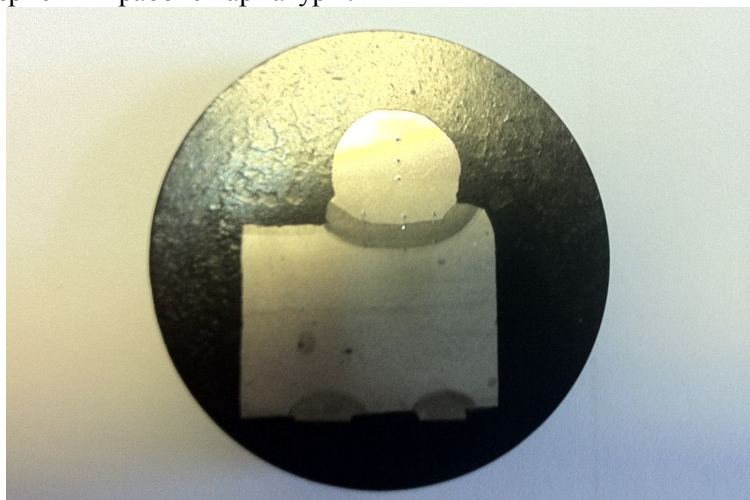


Рис. 1. Микрошлиф сварного соединения, запрессованный в компаунд

Основной этап экспериментальной работы составляли натурные испытания полноразмерных образцов железобетонной плиты проезжей части. Часть плит (Образцы П1С и П2С) были испытаны статически, а 4 плиты подверглись испытаниям на выносливость. Ширина каждого образца составляла 1,00 метр, пролет плиты 2,35 метра. Габаритные размеры образца и схема приложения нагрузки показаны на рис. 2. На рис. 3 приведена фотография образца плиты, установленного в стенд для проведения испытаний на выносливость. Коэффициент асимметрии цикла при испытаниях составил 0,155 при максимальной нагрузке 17,8 тонны и статическом пригрузе 4,7 тонн. Образцы П3В и П5В со сварными сетками (нижняя сетка –  $\varnothing 14$  мм А400, верхняя –  $\varnothing 12$  мм А400) выдержали 2 млн циклов изменения нагрузки и были испытаны статически. Значения разрушающей нагрузки этих образцов оказались близки к полученным при контрольных статических испытаниях образцов П1С и П2С и образца П6С с вязаными сетками, прошедшего 2 млн циклов. Отклонение не превышает 3%, что находится в пределах точности проведения испытаний.

Образец П4В со сварными сетками (нижняя сетка –  $\varnothing 12$  мм А400, верхняя –  $\varnothing 12$  мм А400) выдержал 1,15 млн циклов и разрушился в местах сварки. При диаметрах 14 мм и более изменение свойств металла арматурного стержня происходит в меньшем объеме и сварное соединение практически не влияет на пластические и прочностные свойства арматурного стержня.

До проведения экспериментальной работы были проведены компьютерные расчеты по методу конечных элементов в программном комплексе MIDAS Civil (сертификат №0896211). Сопоставление значений прогибов всех образцов под действием испытательных нагрузок на всех этапах нагружения и расчетной кривой прогибов компьютерной модели представлены на рисунке 4. Деформированный вид образца под действием нагрузки  $P = 33$  тонны показан на рис. 5. Коэффициент корреляции полученных опытным путем и расчетных прогибов составил 0,996 и свидетельствует о хорошем соответствии работы компьютерной модели и реальных образцов.

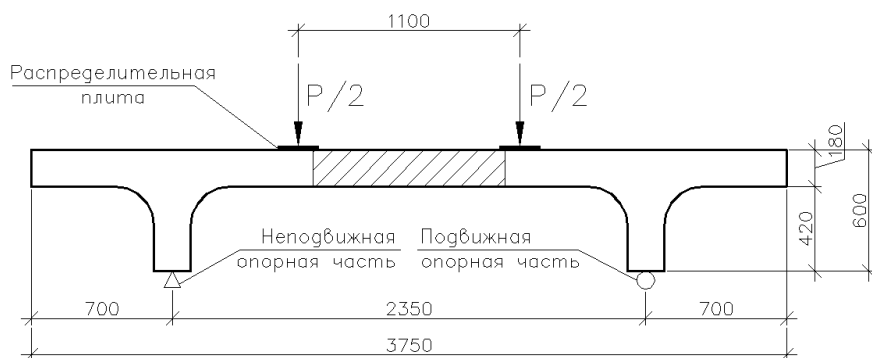


Рис. 2. Схема поперечного сечения образца и размещения испытательной нагрузки



Рис. 3. Образец плиты, установленный в стенде для проведения испытаний на выносливость

Сравнение напряжений в арматурных стержнях и сжатом бетоне, полученных в ходе расчета конечно-элементной модели на всех основных этапах нагружения, а также соответствующих им напряжений по ГОСТ и СП показали, что отклонения не превышают 5%. Так достижение арматурными стержнями предела текучести при  $33 \pm 0,5$  тоннах испытательной нагрузки соответствует 390,3 МПа по расчету и 390,0 МПа по ГОСТ 5781. Разрушение по сжатой зоне

бетона наступило при 49,5-50,0 тоннах, что соответствует 57,1-57,7 МПа согласно расчетам и 57,8 МПа по ГОСТ 26633 для бетона марки В45. Экспериментальные образцы работают согласно теоретическим предпосылкам нормативных документов, а компьютерная расчетная модель досконально повторяет эту работу.

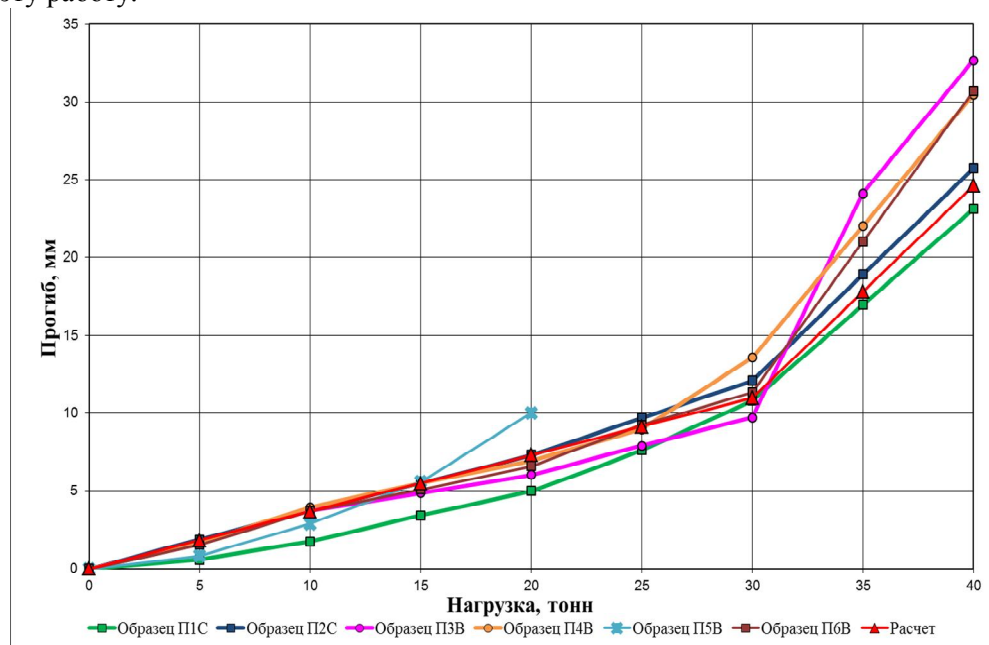


Рис. 4. График прогибов при статических испытаниях всех образцов и расчетная кривая прогибов

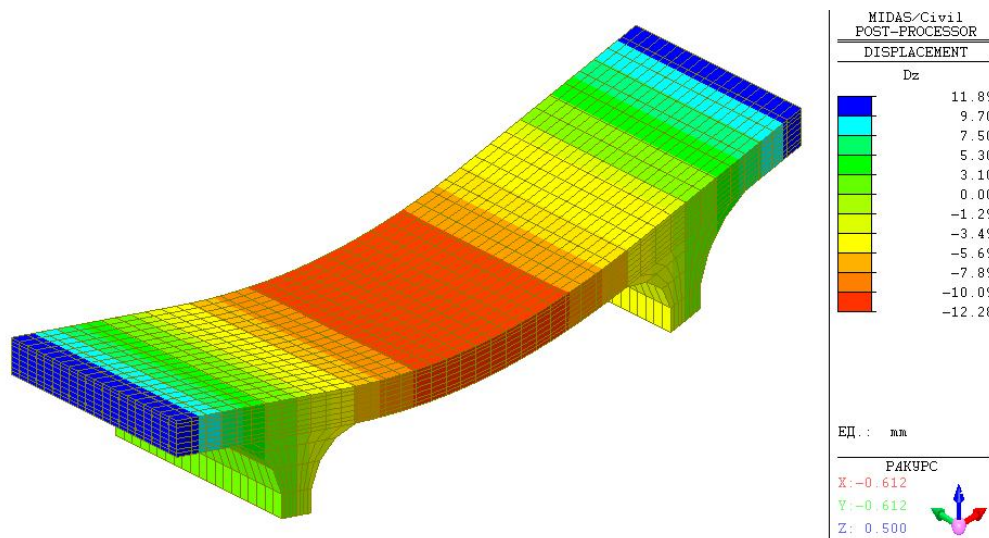


Рис. 5. Деформированный вид образца при воздействии нагрузки  $P = 33$  тонны

### Выводы

Экспериментальные исследования сварных крестообразных соединений и образцов плиты проезжей части, армированных сварными сетками, а также проведенные расчеты позволили сделать вывод о возможности применения контактной сварки стержней арматуры из стали марки 25Г2С класса А400 диаметром 14 мм и более в плите проезжей части. Итогом работы стал выпуск СТО для ПАО «МОСТТРЕСТ» на применение сварных сеток заводского изготов-

ления с использованием сварных крестообразных соединений рабочей арматуры из стали марки 25Г2С и распределительной арматуры [5]. В действующий нормативный документ СП 35.13330.2011 внесено примечание о возможности увеличения коэффициента  $\beta$  на 35% согласно проведенным исследованиям и утвержденному СТО.

#### Л и т е р а т у р а

1. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» (Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы»). – С. 75-77, 99-102.
2. Берг О.Я., Писанко Г.Н., Хромец Ю.Н. Исследование физического процесса разрушения бетона под действием статической и многократно повторяющейся нагрузки // Труды ЦНИИС. – Вып. 60. – М.: Транспорт, 1966. – С. 79-109.
3. Матаров И.А., Прокопович А.Г., Кедров А.Г. Исследование арматуры из стали марки 25Г2С под действием статических и многократно повторных нагрузок. // Труды ЦНИИС. – Вып. 37. – М.: Трансжелдориздат, 1960. - С. 141-221.
4. Карпухин Н.С. Основы теории выносливости железобетона. – М.: Золотое сечение, 2008. – 256 с.
5. Отчет НИР № ИС-13-978-06 филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Мосты». Испытания фрагментов железобетонной плиты проезжей части автодорожных балок на выносливость с рекомендациями по рациональному армированию – М., 2014. – 46 с.
6. СТО 01373996-001-2015 «Арматурные сетки заводского изготовления, выполненные контактной сваркой, для плит проезжей части автодорожных мостов». – М., 2015. – 23 с.
7. Amir Soltani, Kent A. Harries, Bahram M. Shahrooz, Henry G. Russell, and Richard A. Miller. Fatigue Performance of High-Strength Reinforcing Steel// *J. Bridge Eng.* – May/June 2012. – P. 454-461
8. Wilast Amorn, Jeremy Bowers, Amgad Girgis, Maher K. Tadros Fatigue of Deformed Welded-Wire Reinforcement, *PCI Journal*, Jan/Feb 2007. – P. 2-17.

#### Reference

1. SP 35.13330.2011 *Bridges and Culverts*, pp. 75-77, 99-102
2. Berg, O.Ya., Pisanko, G.N., Hrometz, Yu.N. (1966). Research of the physical process of destruction of concrete under static and frequently repeated loading, *Proceedings of TCNIIS*, M.: Transport, Iss. 60, pp. 79-109.
3. Matarov, I.A., Prokopovich, A.G., Kedrov A.G. (1960). Research of rebar made of 25G2S steel under static and frequently repeated loads, *Proc. TCNIIS*, Vol. 37, M.: Transzheldorizdat, p. 141-221.
4. Karpukhin, N.S. (2008). *Osnovnyy Teorii Vynoslivosti Zhelezobetona*, Moscow: Zolotoe sechenie, 256 p.
5. Otchet NIR № IS-13-978-06 Filiala OAO TzNIIS "NITz Mosty", M., 2014, 46 p.
6. СТО 01373996-001-2015 “*Prefabricated Reinforcing Meshes of Factory Prefabrication Made by Resistance Spot Welding for Roadway Slabs of Highway Bridges*”, Moscow, 2015, 23 p.
7. Amir Soltani, Kent A. Harries, Bahram M. Shahrooz, Henry G. Russell, and Richard A. Miller (2012). Fatigue Performance of High-Strength Reinforcing Steel, *J. Bridge Eng.*, May/June 2012, pp. 454-461.
8. Wilast Amorn, Jeremy Bowers, Amgad Girgis, Maher K. Tadros (2007). Fatigue of Deformed Welded-Wire Reinforcement, *PCI Journal*, Jan/Feb 2007, pp. 2-17.

### FATIGUE OF A ROADWAY SLAB OF HIGHWAY BRIDGES WITH WELDED ROD MESHES

N.Yu. Novak

“NITz “Mosty”, branch of AO TCNIIS, Moscow

The problem of prefabricated reinforcing meshes with contact welding application for roadway slabs of highway bridges is considered. The experimental study results for welded joints of reinforcement bars and full-size samples of reinforced concrete slab are given. The possibility of the use of welded meshes as alternative to "knitted" is shown.

**Keywords:** fatigue, reinforced roadway slab, welding, reinforcing welded mesh