

УДК 621.791/69.05/693.814.25

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ПРОЛЕТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

С.В. БОГДАНОВ

(Белорусско-Российский университет, Могилев)

Представлены варианты конструктивного исполнения монтажных стыков, обеспечивающие быстрый монтаж сваркой без использования «мокрых» процессов бетонирования. Описан один из вариантов применения композитных несущих элементов строительных конструкций (КНЭСК) с листовой и стержневой арматурой и тонколистовыми составляющими, обеспечивающий повышение уровня индустриализации технологии монтажа пролетов мостов и путепроводов. Предлагаемая технология монтажа сваркой железобетонных пролетных сооружений из КНЭСК позволяет в разы сократить сроки возведения за счет переноса в контролируемые условия заводского цеха длительного процесса твердения бетонного заполнителя, являющегося основным фактором, ограничивающим уровень индустриализации монтажа. Это позволяет сократить себестоимость монтажа и снизить дополнительные расходы, вызванные использованием опалубочных, подпорных систем и устройством объездных путей.

Под уровнем индустриализации монтажа предлагается понимать две основные характеристики, определяющие этот уровень – время выполнения монтажных операций и время достижения монтажными соединениями технологической прочности. Для технологии монтажа пролетных железобетонных сооружений из композитных несущих элементов строительных конструкций (КНЭСК) при использовании распространенных технологий монолитного и сборно-монолитного возведения эти характеристики ограничиваются временем твердения бетона. Уровень индустриализации монтажных работ, в том числе и в конструкциях на основе КНЭСК, можно повысить при использовании предлагаемой в данной статье технологии быстрого монтажа на основе сварки.

Представляемая технология позволяет полностью раскрыть технологические преимущества использования КНЭСК на монтаже, обеспечивает быстрый монтаж без использования «мокрых» процессов бетонирования на этапе монтажа за счет переноса изготовления объемной сварной арматуры КНЭСК с листовой составляющей и последующего заполнения бетоном в условия цеха. Сущность представляемой технологии заключается в том, что на этапе возведения осуществляется монтаж конструкций из укрупненных сегментов (модулей), изготовленных в заводских условиях, уже с бетонным компонентом.

Композитный несущий элемент строительных конструкций представляет собой композицию металла и бетона, состоит из объемной сварной арматуры, содержащей стержневые и тонколистовые компоненты, и бетонного заполнителя [1 – 4]. В основу создания композиционных материалов был заложен принцип: «материалы для создания композитов должны подбираться таким образом, чтобы преимущества каждого из компонентов взаимноисключали недостатки других компонентов» [5].

Такая область применения КНЭСК, как пролеты мостов и путепроводов, обусловлена рядом преимуществ, присущих этой конструктивной форме композиции металла и бетона, а именно:

- повышенная несущая способность при действии знакопеременных нагрузок, вызываемых движением транспортных средств;
- готовность воспринимать нагрузки до заполнения бетоном на монтаже, что обеспечивает свободное перемещение персонала, осуществляющего монтаж, и оборудования, без использования подпорных конструкций;
- формообразующий лист и листовая арматура выступают в качестве несъемной опалубки.

Главным преимуществом является снижение сроков возведения проезжих частей мостов и путепроводов.

На этапе эксплуатации пролетных конструкций из КНЭСК соблюдается принцип создания композиций. Объемная сварная арматура располагается в растянутых, а бетонный заполнитель – в сжатых зонах, это соответствует требованиям по наиболее эффективной эксплуатации компонентов композита. Конструкция КНЭСК позволяет использовать модульный принцип создания пространственных форм, при этом основной объем сварочных и бетонных операций выполняется в заводских условиях. На этапе же возведения указанный принцип не соблюдается, так как проявляется основной недостаток бетонного компонента КНЭСК – длительный срок достижения технологической прочности монолитным соединением. Между тем основным преимуществом его металлического компонента является максимально быстрое получение неразъемных соединений, способных воспринимать эксплуатационные нагрузки сразу после их выполнения.

Композиция металла и бетона с ребристой, стержневой и листовой арматурами – КНЭСК – получила применение при возведении и проектировании ряда мостов и путепроводов (пешеходный мост через р. Дубровенка в г. Могилеве, автомобильный путепровод над железнодорожной станцией «Минск –Северный» в г. Минске). В настоящее время проектируется автомобильный путепровод в г. Гомеле.

При разработке технологии быстрого монтажа сваркой, без «мокрых» процессов бетонирования, потребовалось решить задачу по созданию конструкции краевых монтажных стыков сегментов из КНЭСК, соединяемых сваркой на этапе возведения. Такой подход, по нашему мнению, позволит и на этапе возведения обеспечить соблюдение принципа создания композиций.

Разработка конструкции монтажных стыков КНЭСК. Монтажный стык быстровозводимых сварных конструкций пролетных сооружений из КНЭСК может содержать одно или несколько сварных соединений. В зависимости от особенностей нагружения и расположения относительно опорных элементов монтажные стыки подразделяются на несущие, расположенные под углом к опорным элементам, и соединительные, расположенные на опорных элементах (рис. 1).

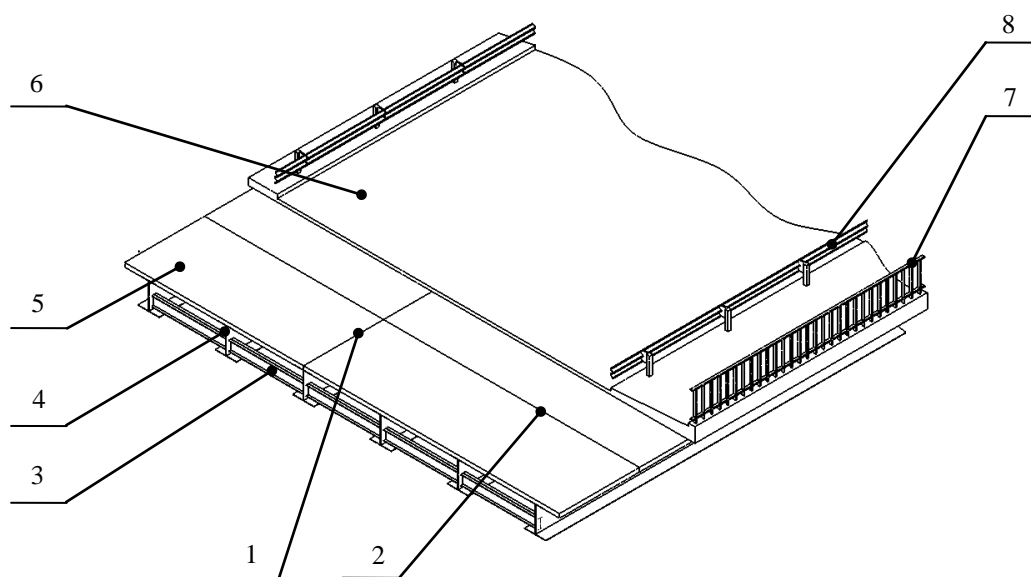


Рис. 1. Общий вид части опорных балок моста с секциями из КНЭСК (часть дорожного покрытия не показана):
 1 – соединительный монтажный стык; 2 – несущий монтажный стык; 3 – поперечная балка;
 4 – несущая балка; 5 – секция из КНЭСК; 6 – дорожное покрытие;
 7 – перильное ограждение; 8 – дорожное ограждение

В соответствии с назначением и особенностями эксплуатации, конструкции монтажных стыков и их сварных соединений должны:

- удовлетворять требованиям прочности при статических и выносливости при динамических нагрузках (знакопеременных или одного знака);
- обеспечивать максимальную неразрезность бетонного компонента композиции;
- обеспечивать требуемую коррозионную стойкость;
- гарантировать герметичность вплоть до вакуумной изоляции;
- предусматривать получение соединений как встык, так и под острыми, и тупыми углами;
- обеспечивать наложение сварных швов в удобных пространственных положениях, свободный доступ к сварным соединениям монтажного стыка и беспрепятственное выполнение сварных швов по всей длине [6];
- гарантировать высокий уровень индустриализации этапов производства и сборки объемной арматуры КНЭСК и монтажа;
- не вносить значительных технологических и конструктивных трудностей в технологию изготовления и монтажа быстровозводимых конструкций из КНЭСК;
- соответствовать другим требованиям согласно ГОСТ, в зависимости от способов сварки, типов сварных соединений и специфических требований для различных объектов применения.

При проектировании монтажных стыков пролетных конструкций предпочтение следует отдавать стыковым сварным соединениям, выполняемым механизированными способами сварки [6].

В конструкциях из КНЭСК формообразующие листы располагаются снизу. Для вывода зоны сварки монтажных стыков на лицевую поверхность бетонного заполнителя предлагается использовать формообразующие листы с отбортовками. Это обеспечивает возможность монтажа конструкций только с лицевой поверхности с наложением монтажных сварных швов в нижнем положении.

На рисунке 2 представлено сечение монтажного стыка с двумя сварными соединениями и отбортовкой формообразующего листа без дополнительного армирования. Прочности такого исполнения монтажного стыка будет недостаточно для восприятия эксплуатационных нагрузок, ввиду их значительных величин и динамического характера воздействия.

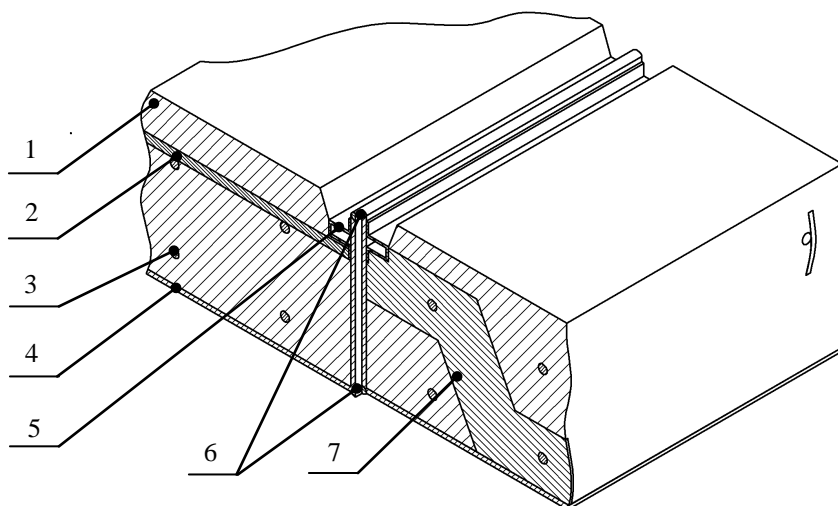


Рис. 2. Сечение соединяемых сегментов вдоль листовых армирующих элементов:

1 – бетонный заполнитель; 2, 3 – продольная и поперечная стержневая арматура;
4 – формообразующий лист; 5 – защитная накладка; 6 – сварной шов; 7 – листовый армирующий элемент

Соблюдение требований прочности и выносливости монтажных стыков и их сварных соединений может быть достигнуто реализацией мероприятий по следующим направлениям:

- усиление монтажных сварных соединений;
- изменение геометрии формообразующих листов в области монтажного стыка;
- использование его дополнительного армирования;
- применение технологии монтажа с использованием дополнительных усиливающих накладок или прокатного профиля.

В ходе систематизации и поиска предпочтительных вариантов исполнения монтажных соединений были определены основные требования к монтажным стыкам, их сварным соединениям и мероприятия, обеспечивающие снижение величины полей напряжений и деформаций, действующих на монтажном стыке КНЭСК, что позволило выбрать три предпочтительных варианта конструктивного исполнения соединений. Для сравнения выбранных исполнений монтажных стыков при воздействии сил, вызывающих изгиб, были разработаны и созданы математические модели расчета силовых и деформационных полей: монолитная плита из КНЭСК со сварным соединением посередине как базовый вариант для сравнения с быстромонтируемыми (рис. 3); быстромонтируемые плиты из КНЭСК со сварными монтажными стыками, дополнительно армированные стержневыми закладными элементами с измененной формой отбортовок формообразующих листов для повышения несущей способности монтажного стыка за счет перераспределения силовых и деформационных полей (рис. 4).

Габаритные размеры моделируемых плит (1200×500×120 мм) выбраны исходя из мощности испытательного оборудования при экспериментальной апробации результатов математического моделирования. Геометрические размеры стержневых, ребристых упрочняющих элементов и формообразующих листов были приняты аналогичными плитам из КНЭСК в существующем путепроводе «Минск – Северный» с пролетами между опорными балками в 2900 мм. Соединение расположено в наиболее нагружен-

ной области, в середине плиты, с целью моделирования наиболее неблагоприятных условий нагружения в процессе эксплуатации.

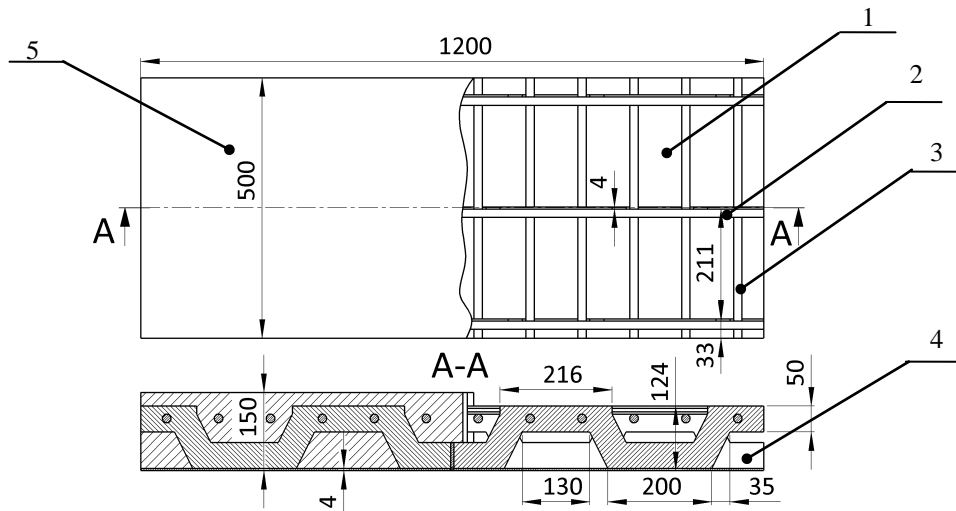


Рис. 3. Монолитная плита из КНЭСК:

1 – формообразующий лист; 2, 3 – продольные и поперечные стержневые армирующие элементы; 4 – ребристый упрочняющий элемент; 5 – бетон

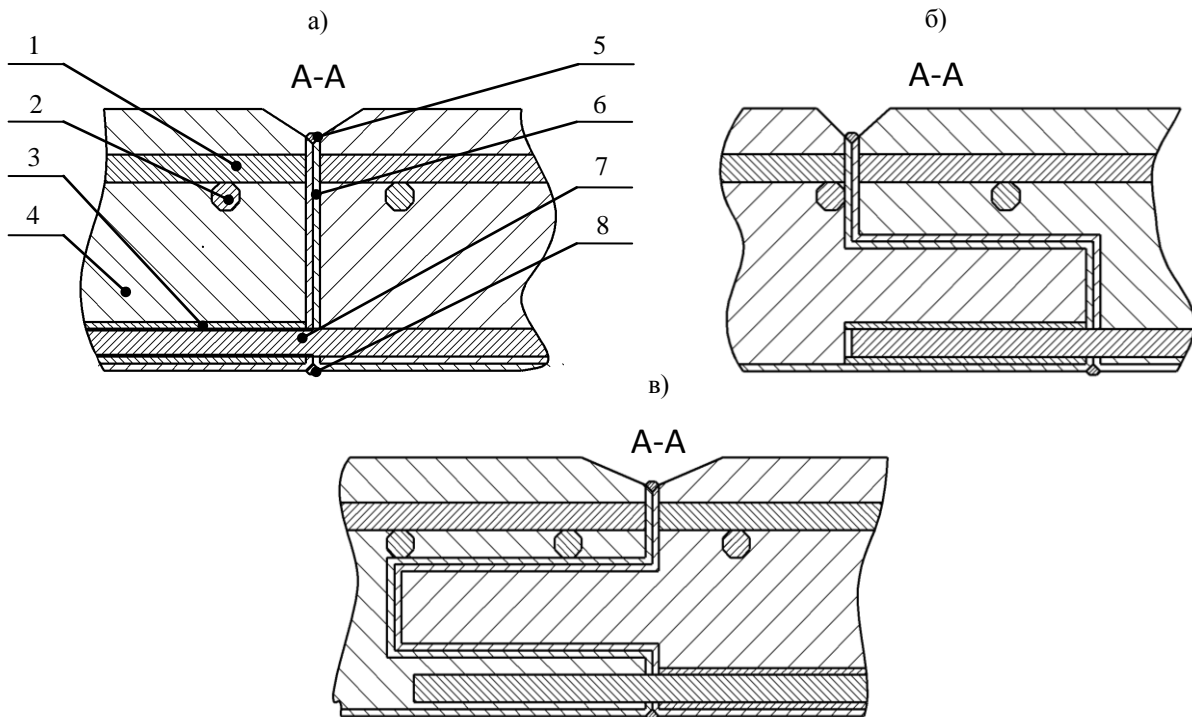


Рис. 4. Варианты исполнения несущих монтажных сварных стыков быстромонтируемых пролетов мостов и путепроводов из КНЭСК:

а, б, в – первое, второе и третье исполнение соответственно;

1, 2 – продольные и поперечные армирующие элементы; 3 – приемник закладных армирующих элементов; 4 – бетон; 5 – верхний сварной монтажный шов; 6 – формообразующие листы с отбортовками; 7 – закладной армирующий стержневой элемент; 8 – нижний монтажный сварной шов

При разработке математических моделей были приняты следующие допущения:

- собственный вес конструкции не учитывался, поскольку на пролете в 1200 мм его влияние на результаты анализа незначительно (в четырех вариантах вес конструкций примерно одинаков и максимальная разница не превышает 2 %);

- контактное поверхностное взаимодействие между стержневыми, ребристыми упрочняющими элементами и бетонным заполнителем не учитывалось (принято, что бетонная компонента соединена с стальной жестко) так как целью исследований являлось сравнение прочности рассматриваемых вариантов соединений, а не моделирование конструкций в реальных эксплуатационных условиях;

- расчетные схемы моделей в упрощенном виде представляют собой плиту с жестким закреплением на торцах, параллельных монтажному соединению, и с распределенными нагрузками по обеим сторонам от монтажного сварного соединения (расчетная схема представлена на рис. 5);

- величина распределенной нагрузки (q), действующей на плиту согласно расчетной схеме, составляет 4;

- модели поведения материалов рассматривались в нелинейной постановке, ортотропность свойств материалов учитывалась посредством диаграмм деформирования при сжатии и растяжении. Упругие свойства материалов задавались модулем Юнга (E) и коэффициентом Пуассона (ν) (характеристики материалов представлены в таблице) [7].

Упругие характеристики материалов КНЭСК

Материал	E , Па	ν
Сталь 08Г2С	$2 \cdot 10^{11}$	0,3
Бетон класса С30/37	$2 \cdot 10^{10}$	0,2

Также, для упрощения моделей не учитывалось остаточное напряженно-деформированное состояние от термических циклов сварки, возникающее на этапах сборки и монтажа. Для снижения количества требуемых для разбиения модели конечных элементов круглое сечение стержневых упрочняющих элементов было заменено равносторонним восьмиугольником. Геометрия накладок, призванных защитить бетон от перегрева во время сварки и гарантировать совместное деформирование бетона и металла, не моделировалась в виду малого влияния их размеров и формы на результаты расчета.

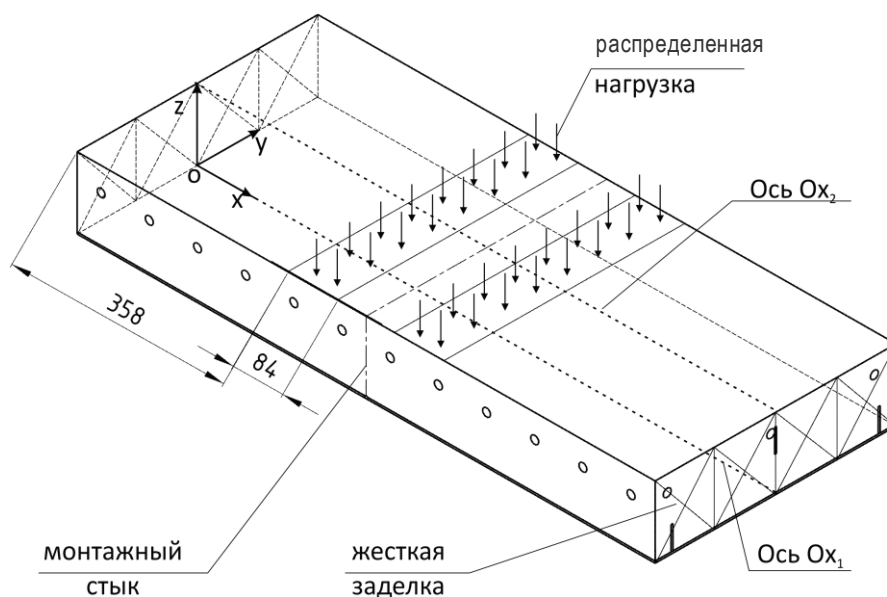


Рис. 5. Расчетная схема

По результатам реализации математических моделей были построены распределения суммарных напряжений по von Mises (S) в плоскости с координатой 2 мм по Oz в формообразующих листах и нижнем монтажном сварном шве (рис. 4. а, поз. 8) по оси Ox_1 , и верхнем сварном монтажном шве (рис. 4. а, поз. 5) по оси Ox_2 (рис. 6, 7) По распределению суммарных напряжений в наиболее нагруженных сечениях – формообразующем листе и нижнем сварном шве – можно судить о максимальных напряжениях, возникающих в монтажном стыке, его сварном шве и околошовной зоне. Их величина не превышает предела текучести материала.

Результаты расчетов показали, что рассмотренные варианты конструкций с различными конструктивными исполнениями монтажных стыков со сварными соединениями уступают монолитной конструкции, так как величина напряжений на монтажном стыке и в его сварных соединениях больше на 25...50 %, чем на монолитной плите и ее сварном соединении, но область повышенной концентрации напряжений составляет всего 5 % от общей длины.

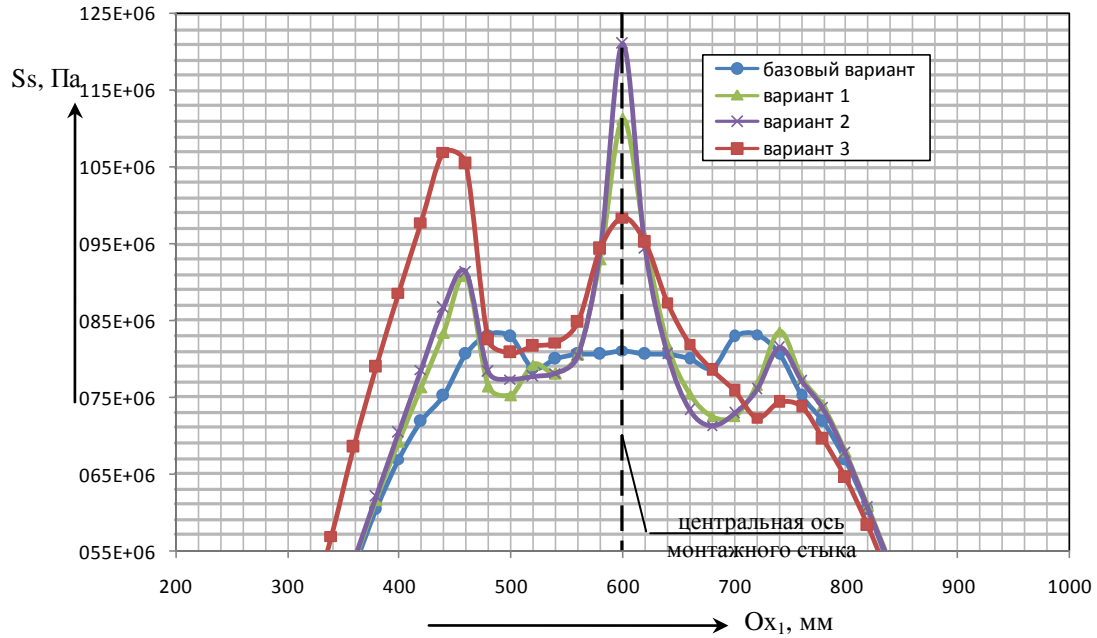


Рис. 6. Распределение суммарных напряжений в формообразующих листах и монтажном сварном соединении по оси Ox_1

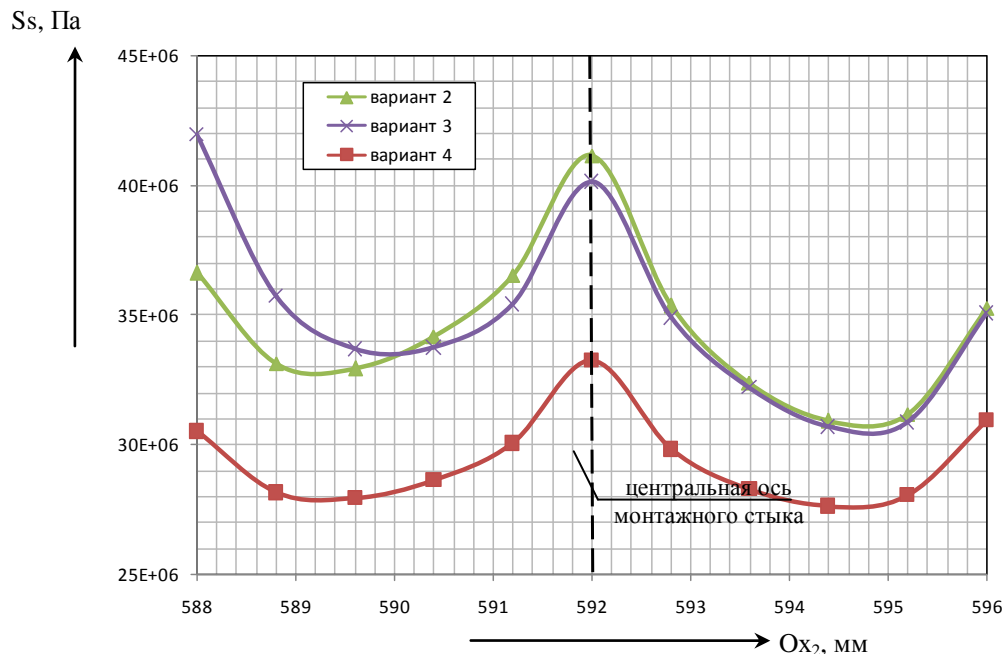


Рис. 7. Распределение суммарных напряжений в верхнем сварном монтажном шве по оси Ox_2

Обращая внимание на то, что любая сборная конструкция имеет большие эксплуатационные напряжения, нежели монолитная, и учитывая тот факт, что величина эксплуатационных напряжений на предложенных конструктивных исполнениях монтажных стыков и их сварных соединений не превышает предела текучести материала, видимая большая разница в 25...50 % – всего лишь числовое сравнение ва-

риантов исполнения монтажных стыков. Варианты 1, 2 могут быть использованы при возведении неотвественных конструкций с малыми эксплуатационными нагрузками или для соединения сегментов на опорном элементе. Третий вариант исполнения монтажного стыка обеспечивает уменьшение величины концентрации напряжений на сварных швах на 20 % и может быть использован, в качестве несущего монтажное сварное соединение КНЭСК. Соединения должны обеспечивать максимально возможную неразрезность бетонных компонент, поскольку бетон выступает в качестве демпфирующего элемента, обеспечивающего равномерность распределения полей напряжений и деформаций монтажного стыка и конструкции в целом.

Заключение. Предложенные конструкции монтажных стыков со сварными соединениями для быстромонтируемых сегментов пролетных сооружений из КНЭСК обеспечивают достаточный уровень несущей способности, быстрый монтаж сваркой и готовность воспринимать эксплуатационные нагрузки сразу после их выполнения.

Предлагаемая технология монтажа сваркой железобетонных пролетных сооружений из КНЭСК позволяет в разы сократить сроки возведения, за счет переноса в контролируемые условия заводского цеха длительного процесса твердения бетонного заполнителя, являющегося основным фактором, ограничивающим уровень индустриализации монтажа. Имеет место возможность отказа от опалубочных и подпорных систем за счет монтажа уже готовых сегментов, способных воспринимать нагрузки как от собственного веса, так и от веса персонала, осуществляющего монтаж. Это позволяет сократить себестоимость монтажа и снизить дополнительные расходы, вызванные использованием опалубочных, подпорных систем и устройством объездных путей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Композитный несущий элемент строительных конструкций: пат. 4082 Респ. Беларусь, МПК7 Е 04 С 2/28 / В.М. Фридкин [и др.]; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 970421; заявл. 29.07.97; опубл. 19.04.01 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2001. – № 3. – 3 с.
2. Кузменко, И.М. Сварные несущие элементы композитных строительных конструкций / И.М. Кузменко, С.К. Павлюк, В.М. Фридкин // Сварочное производство. – 2003. – № 9. – С. 47 – 50.
3. Инновационные конструктивные решения пролетных строений проезжей части мостов / И.М. Кузменко [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – № 1. – С. 37 – 40.
4. Богданов, С.В. Использование композитных несущих элементов для быстровозводимых строительных конструкций, монтируемых сваркой / С.В. Богданов, С.К. Павлюк, И.М. Кузменко // Вестн. Белорус.- Рос. ун-та. – 2009. – № 4. – С. 68 – 75.
5. Фридкин, В.М. Принципы формообразования в теории линейно-протяженных конструкций / В.М. Фридкин. – М.: Изд-во «Ладья», 2006. – 512 с.: ил.
6. Технология монтажной сварки стальных конструкций мостов: СТП 005-97. – Введ. 01.01.98. – М.: Науч.-исслед. центр «Мосты» ОАО ЦНИИС, 1998. – 120 с.
7. Пецольд, Т.М. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования / Т.М. Пецольд, В.В. Тур. – Брест: БГТУ, 2003. – 379 с.: ил.

Поступила 03.02.2010

RAISE OF INDUSTRIALIZATION LEVEL IN ASSEMBLY TECHNIQUE OF SPAN CONSTRUCTIONS

S. BOGDANOV

Modifications of erection joints embodiment, providing quick installation by welding without use of "wet" processes of concreting are presented. One of variants of application of composite load elements of building constructions (clebc) with sheet and bar reinforcement and thin-sheet components, providing raise of industrialization level in assembly technique of spans in bridges and over-bridges is presented. The offered assembly technique of installation by welding of reinforced-concrete span constructions of CLEBC allows to reduce terms of erection more than once at the expense of transferring of factory floor of the long-term concrete filler hardening process to controlled conditions which is major factor, restricting industrialization level of installation. It allows to reduce the cost price of installation and to cut additional charges caused by using form supporting systems and by-road organization.