

ЛИТЕРАТУРА

1. **Государственная** программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31.08.2010 № 1262 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2010. – № 214. – С. 16.

2. **Мелиоративные** системы и сооружения. Нормы проектирования: ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Минск, 2006. – 105 с.

3. **Реконструкция** осушительных систем. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-177-2009 (02250). – Минск, 2010. – 54 с.

4. **Проектирование** и возведение мелиоративных систем и сооружений: П 1–98 к СНиП 2.06.03–85. – Минск, 1999. – 85 с.

5. **Принципальные** подходы к осушению переувлажненных понижений при реконструкции мелиоративных систем на минеральных землях Белорусского Поозерья / Г. В. Соколовский [и др.] // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. – 2010. – Вып. 22. – С. 53–70.

6. **Принципы** типизации понижений на мелиорированных минеральных землях в условиях низменных озерно-ледниковых ландшафтов / А. В. Высоченко [и др.] // Мелиорация переувлажненных земель. – 2006. – № 2 (56). – С. 57–67.

7. **Применение** экологических мероприятий при реконструкции мелиоративных систем в условиях Белорусского Поозерья / П. М. Богославчик [и др.] // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3 – С. 41–45.

8. **Мелиорация** и рациональное использование переувлажненных минеральных земель Нечерноземья России и Беларуси / под ред. А. П. Лихацевича, Н. Г. Ковалева, Б. М. Кизяева. – Минск; Москва: ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2009. – 498 с.

9. **Влияние** осушения и агромелиоративных мероприятий на морфологию и микроморфологию минеральных почв / Ж. А. Капилевич, А. В. Высоченко // Мелиорация. – 2009. – № 1 (61). – С. 143–157.

10. **Мелиорация**: энцикл. справ. / под общ. ред. А. И. Мурашко. – Минск: Белор. Сов. Энцикл., 1985. – 567 с.

Council of Ministers of the Republic of Belarus. *Natsional'nyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2010, No 214, p. 16 (in Russian).

2. **ТКП** 45-3.04-8-2005 (02250). Reclamation Systems and Facilities. Design Standards. Minsk, 2006. 105 p. (in Russian).

3. **ТКП** 45-3.04-177-2009 (02250). Reconstruction of Drainage System. Design Norms. Minsk, 2010. 54 p. (in Russian).

4. **Designing** and Construction of Reclamation Systems and Facilities. Benefit P 1–98 to SNiP 2.06.03–85. Minsk, 1999. 85 p. (in Russian).

5. **Sokolovsky, G. V.**, Seleznev, V. I., Linkevich, N. N., Vysochenko, A. V., & Kapilevich, Zh. A. (2010) Principal Approaches to drainage of Low-Country Wetlands While Reconstructing Reclamation Systems on Mineral Belarusian Pooserje Lands. *Vodnoe Khoziaistvo i Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo* [Water Resources Policy and Water Engineering], Issue 22, 53–70 (in Russian).

6. **Vysochenko, A. V.**, Kapilevich, Zh. A., Klevets, E. E., & Khovrov, Iu. V. (2006) Principles of Low-Country Type-Designs on Reclaimed Mineral Lands Under Conditions of Low-Land Lake Glacial Landscapes. *Melioratsia Pereuvlazhnykh Zemel* [Reclamation of Waterlogged Lands], 2 (56), 57–67 (in Russian).

7. **Bogoslavchik, P. M.**, Seleznev, V. I., Vysochenko, A. V., & Kapilevich, Zh. A. (2009) Application of Ecological Measures While Reconstructing Reclamation Systems Under Conditions of the Belarusian Pooserje. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Technology], 3, 41–45 (in Russian).

8. **Likhatsevich, A. P.**, Kovaleva, N. G., Kizyaev, B. M. (2009) *Reclamation and Rational use of Waterlogged Mineral Lands in Nonblack Soil Zone of Russia and Belarus*. Minsk; Moscow, GNU VNIIGIM Russian Agricultural Academy. 498 p. (in Russian).

9. **Kapilevich, Zh. A.**, & Vysochenko, A. V. (2009) Influence of Drainage and Agro-Reclamation Measures on Morphology and Micro-Morphology of Mineral Soils. *Melioratsiya* [Reclamation], 1 (61), 143–157 (in Russian).

10. **Murashko, A. I.** (1985) *Reclamation: Encyclopedic Reference Book*. Minsk, Belarusian Soviet Encyclopedia. 567 p. (in Russian)

Поступила 14.01.2014

REFERENCES

1. **State** Programme on Conservation and Use of Reclaimed Agricultural Land for 2011–2015. Resolution of the

УДК 004.414.23:693.554.1

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРНОГО КРЕСТООБРАЗНОГО СОЕДИНЕНИЯ*

Асп. КУЗНЕЦОВА В. В.

Белорусский государственный университет транспорта

E-mail: kyznika@gmail.com

Проведено моделирование нестационарных процессов при дуговой сварке в среде защитного газа крестообразных соединений, состоящих из арматуры различных диаметров. Рассмотрены изменения и особенности напряженно-деформированного состояния в крестообразном соединении. Расчеты максимально

* Работа выполнена в рамках гранта Министерства образования Республики Беларусь № 20140426.

приближены к реальной ситуации: используется трехмерная геометрическая и конечно-элементная модель, задача рассматривается как упругая контактная с учетом силовой нагрузки. С помощью метода конечных элементов произведен анализ сварного узла, состоящего из арматуры диаметров 4–10 мм. Выполнен расчет сварного соединения с учетом геометрической нелинейности. Показано, что растяжение арматуры под действием нагрузки вызывает в сварном шве неравномерное распределение напряжений и значительная их концентрация наблюдается в местах переходов от сварного шва к основному металлу. Анализ полученных эквивалентных напряжений в узлах и деталях конструкции сварного шва показал, что для рассмотренных условий нагружения они не превышали допустимых для всех диаметров. Выполнено сопоставление значений напряжений, рассчитанных по предложенному методу, с экспериментально полученными значениями. Выявлено, что при приложении к соединению разрывной нагрузки (установленной экспериментально) значения напряжения на границе соединения и сварного шва достигают предела текучести, и соответственно происходит разрушение соединения. Установлено, что запас прочности для такого типа соединений в среднем составляет от 30 до 60 %. Представленные расчетные данные хорошо согласуются с экспериментальными, что говорит о правильности выбора расчетных схем и нагрузок.

Ключевые слова: арматура, конечно-элементное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

Ил. 11. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

FINITE-ELEMENT MODELING OF WELDED X-SHAPED JOINT

KYZNIATSOVA V. V.

Belarusian State University of Transport

The paper presents a modeling of non-stationary processes while making arc welding in the shielding gas medium of X-shaped joints which consist of re-bars having various diameters. Changes and specific features of stress-strain state in the X-shaped joint have been considered in the paper. Calculations are as much as possible approximated to a real situation: a 3D-geometrical and finite-element model is used, the problem is considered as elastic and contact one with due account of power loading. An analysis of the welded assembly consisting of re-bars with diameter of 4–10 mm has been performed using a finite element method. Computation of a welded connection with due consideration of geometrical nonlinearity has been done in the paper. It has been shown that tensile of re-bars under load causes uneven stress distribution in a welded joint and their significant concentration is observed at crossing points from the welded joint to a base metal. An analysis of the obtained equivalent stresses at nodes and details of the welded joint structure has shown that they did not exceed permissible values for all diameters in case of the considered loading conditions. A comparison of stress values calculated has been carried out in accordance with the proposed method and experimentally obtained data. It has been revealed that application of tensile load (determined experimentally) to the connection stress values at the connection and welded joint boundary reach a yield strength and subsequently it causes destruction of the connection. It has been established that the margin of safety for such type of connections is averagely equal from 30 to 60 %. The submitted calculated data are in full agreement with experimental data that proves correctness in selection of calculation schemes and loads.

Keywords: re-bars, finite-element modeling, stress-strain condition.

Fig. 11. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

Введение. Строительная индустрия во многом зависит от работы предприятий по производству изделий из бетона и железобетона. На их долю приходится изготовление продукции, составляющей около 60 % общей стоимости строительства типовых домов. Весьма энергоемким в производстве сборного железобетона, к сожалению, остается изготовление арматурных сеток и каркасов, поскольку большинство заводов для таких целей применяют технологии 30–40-летней давности [1]. Основными причинами этого до недавнего времени являлись отсутствие новых разработок в области сварочной стройиндустрии, а в настоящее время – недостаток стимулов для персонала

предприятий к внедрению в производство новейшего оборудования для выпуска арматурных сеток.

Применение математических методов и математического моделирования сварочных процессов превратилось в мощный инструмент исследований и познания процессов, происходящих в сложных технологических системах, позволяющих не только получить формализованное описание их основных закономерностей, но и эффективно управлять ими [2]. Актуальная задача строительной промышленности – повышение производительности труда с обеспечением заданного уровня качества сварных соединений.

Существующие в настоящий момент математические методы и модели в основном созданы для широко используемых и глубоко изученных способов сварки: ручной дуговой, механизированной и автоматизированной под слоем флюса. Однако при производстве сварных металлоконструкций все более широкое применение находят способы сварки с управляемым каплепереносом электродного металла, такие как дуговая сварка полуавтоматом в среде защитных газов. Сварка в смеси газов положительно сказывается на технологических свойствах сварочной дуги, повышая стабильность ее горения, происходит снижение размеров брызг и уменьшение потерь на разбрызгивание, уменьшается выпуклость шва [3]. Однако возможности дуговой сварки в производстве соединений арматуры из малых диаметров мало изучены и до конца не раскрыты. Накоплен лишь небольшой опыт использования дуговой сварки в среде защитных газов для соединения изделий из тонколистовой стали. Расчетный анализ крестообразных сварных соединений арматуры до настоящего времени не выполнялся, а определялся только на основе эксперимента. В связи с этим представляется актуальной разработка при помощи компьютерных программ модели поведения конструкции, включая процессы деформации и разрушения материала, с определением мест начала разрушения и траекторий роста напряжений непосредственно в процессе моделирования. Объединение расчетного и экспериментального подходов позволит выйти на новый уровень оценки прочности и работоспособности исследуемых сварных соединений.

Цель работы – создание конечно-элементной модели крестообразного сварного соединения арматуры диаметром до 10 мм и определение целесообразности применения к ней дуговой сварки в среде активного газа CO_2 . Требуется выяснить, будет ли сварная конструкция удовлетворять условиям прочности по первой группе предельных состояний на действие расчетных нагрузок. Рассматриваемая задача была вызвана необходимостью модификации процесса сварки пространственных каркасов в условиях предприятия-изготовителя без переоборудования цеха.

Основная часть. Для расчета сварочных конструкций существует много методик, посо-

бий, но самым оптимальным сегодня является метод конечных элементов (МКЭ). Расчет МКЭ позволяет получить более точную, по сравнению с сопроматом или другими приближенными методиками, оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) в сечениях в зависимости от геометрии и схемы приложения усилий [4].

Объектом исследований служил арматурный узел, выполненный в виде крестообразного соединения дуговым способом сварки полуавтоматом в среде активного газа CO_2 плавящимся электродом в месте пересечения арматуры, представленный на рис. 1. Для крестообразных соединений использовали стальную арматуру диаметрами 4, 5, 6, 8 и 10 мм.



Рис. 1. Крестообразное соединение арматуры диаметрами 4 и 6 мм, выполненное дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа CO_2

Для выяснения причин разрушения крестообразного сварного соединения из арматуры малых диаметров в процессе нагружения была создана конечно-элементная модель конструкции средствами расчетно-программного комплекса ANSYS Mechanical. Разработка математической модели включает следующие основные этапы: создание геометрии модели, ввод данных о физических свойствах материалов, задание начальных и граничных условий (механические нагрузки, контактные характеристики), формирование алгоритма расчета. Блок-схема алгоритма пошагово совмещенного анализа представлена на рис. 2. При необходимости обновляющиеся процедуры повторяются с определенным приращением нагрузки (шагом) или изменением сетки конечных элементов.

Расчет сварного соединения начинали с выбора расчетной схемы, которую получали из

реальной конструкции, освобождая ее от менее существенных признаков при сохранении главных: размеров и очертания контура, механических и деформативных свойств материалов, характера нагружения, соединения и закрепления элементов. С одной стороны, расчетная схема должна описывать закономерности натурной конструкции с требуемой точностью, т. е. быть адекватной по отношению к ней, а с другой – быть наиболее простой. В строительной механике принято, что перемещения и деформации по сравнению с конструкциями пренебрежимо малы [5]. Принцип неизменности начальных размеров не приводит к большим погрешностям, но значительно упрощает расчет. Внешняя нагрузка в расчетной схеме заменяется сосредоточенными или распределенными силами, имеющими простое описание.

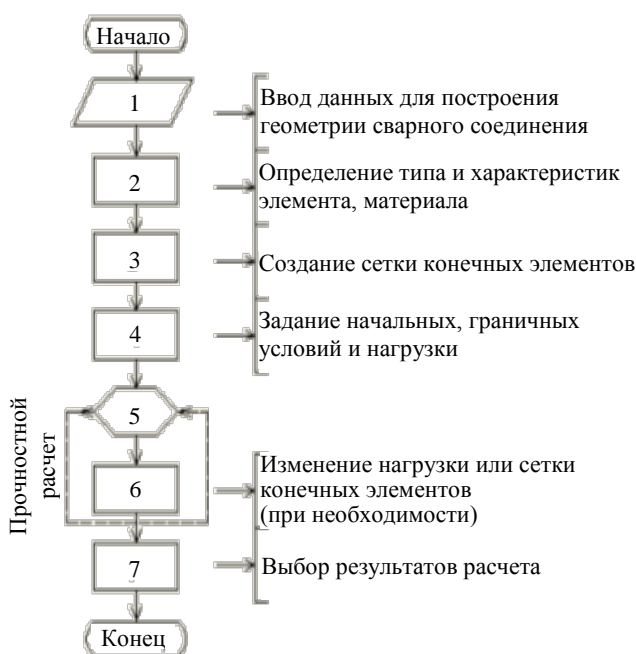


Рис. 2. Блок-схема процедуры пошагово совмещенного анализа

Исходными данными для построения расчетной схемы модели являются геометрические размеры сварных соединений, катет сварного шва и вид их сварки. Геометрические размеры расчетной модели были получены путем обмена более 20 крестообразных соединений, сваренных дуговым способом полуавтоматом в среде активного газа и использованных в дальнейшем при натуральных испытаниях на растяже-

ние. Расчетная схема модели и обозначения представлены на рис. 3.

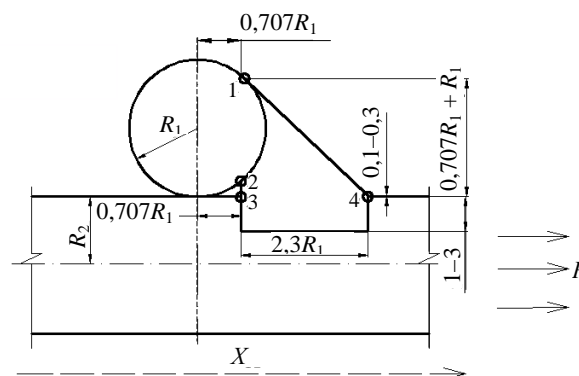


Рис. 3. Расчетная схема параметров модели сварного крестообразного соединения (размеры в мм): R_1, R_2 – радиус поперечного и продольного стержней арматуры; P – действующая нагрузка; X – ось действия продольного напряжения; 1–4 – места перехода основного металла в шов, являющиеся концентраторами напряжений

Особенность сварных соединений – возможность проявления в небольшом объеме, практически в одной точке, целого ряда факторов, осложняющих оценку опасности разрушения: острых конструктивных концентраторов напряжения, границ зон с различными свойствами, технологических дефектов, остаточных напряжений, градиентов температуры [2]. На рис. 3 видно, что профиль сечения отличается от идеального. Это сделано сознательно, чтобы исключить точки, в которых возникают бесконечные напряжения, и упругий расчет становится некорректным. На основании этих данных была построена конечно-элементная модель крестообразного сварного соединения.

Рассматриваемая система состоит из двух взаимно перпендикулярных стержней длиной 10 см, соединенных сваркой с двух сторон. Наибольшее внимания заслуживает НДС в зоне сварного шва. Принимаем, что конструкция сварного шва симметричная. Система имеет две плоскости симметрии по осям XU и YZ . Таким образом, расчеты проводили для одной четвертой системы (рис. 4).

Полагая, что материал изотропный и упругий, для расчета интенсивности напряжений задавали физические и механические свойства арматурной стали и сварного шва, представленные в табл. 1 [6, с. 107–108].

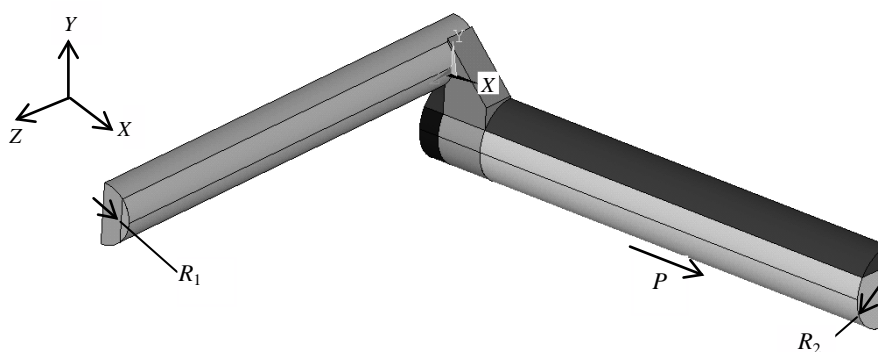


Рис. 4. Геометрическая модель сварного соединения

Таблица 1

Параметры для расчета интенсивности напряжений

Материал	Марка	Временное сопротивление R_m , МПа	Предел текучести σ_y , МПа	Модуль упругости E , МПа	Коэффициент Пуассона μ
Арматурная сталь, класс S500	Ст3пс	600	500	$2,1 \cdot 10^5$	0,3
Наплавляемый металл	Св-08Г2С	550	450		

Одним из наиболее важных этапов конечно-элементного анализа является построение сетки конечных элементов. В программном комплексе предусмотрены два основных метода построения сетки: произвольной и упорядоченной. Точность расчета с помощью МКЭ зависит от правильного выбора типов и размеров конечных элементов [7]. В связи с этим перед созданием конечно-элементной сетки необходимо выделить предполагаемые области концентрации напряжений. Мелкую сетку накладывали там, где ожидали большой градиент деформаций или напряжений. В рассматриваемом случае – это сварной шов и область арматурного стержня, прилегающая к нему, а крупную сетку применяли в зонах с малоизменяющимися относительными деформациями или напряжениями.

Соединение арматуры происходило в одной точке. Рассматриваемая часть системы соединения была разбита на девять объемов. Общее количество объемов крестообразного соединения составляло 36. Объемы были разбиты на конечные элементы с помощью тетраэдральных квадратных 10-узловых конечных элементов Solid 187, имеющих три степени свободы в каждом узле [7].

В качестве нагрузки прикладывали равномерно распределенное давление p , действующее по оси X. Распределение перемещений, напряжений и деформаций по конечному эле-

менту – квадратичное. В диапазоне допустимых нагрузок не должна происходить общая или местная потеря устойчивости. Общий вид конечно-элементной модели конструкции сварного крестообразного соединения состоял из 11 тыс. элементов. Количество уравнений составляло 43 тыс. Сетчатая модель конечных элементов, использованная для моделирования, представлена на рис. 5.

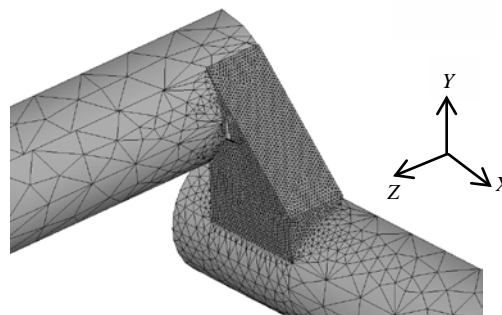


Рис. 5. Наложение сетки конечных элементов на сварное соединение

Как видно из рис. 5, элементы сетки поблизости от центра сварного шва были более плотные, в то время как по мере удаления от зоны сварного шва ячейки крупнее. Окрестность сварного шва разбивали конечными элементами размером не более 0,002 мм, сварной шов – не более 0,020 мм, остальные площади модели (арматурный стержень) – 0,200 мм.

Граничные условия – симметрия на плоскостях симметрии, закрепление одной точки по

оси Y . Нагружение модели проводили распределенной нагрузкой, прикладываемой по схеме, представленной на рис. 2. Согласно нормативным документам, временное сопротивление соединений стальной арматуры крестообразного типа должно быть не менее 525 МПа [8, с. 3]. Для пластичных материалов за предельное напряжение принимается предел текучести $\sigma_u = \sigma_y$ [5, с. 32].

Анализ выполнен с учетом геометрической нелинейности. В рассматриваемом случае геометрическая нелинейность – большие деформации, когда предполагается, что деформации не считаются бесконечно малыми, а являются конечными. Серию расчетов проводили для случаев соединения различных диаметров стержней. Принципиальная схема распределения напряжений была одинакова во всех случаях. Различия наблюдались лишь в значении напряжений. Более ясная картина возникающих напряжений проявляется при особо близком рассмотрении сварного шва (рис. 6).

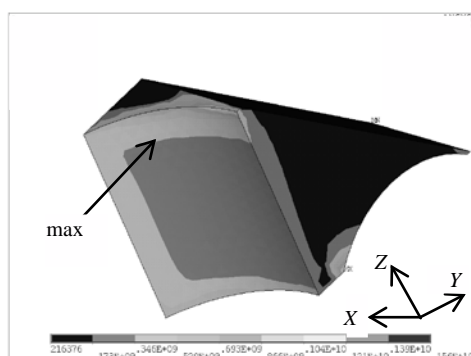


Рис. 6. Поля эквивалентных напряжений в сварном шве по оси XY от действия растягивающих нагрузок

Анализируя рис. 6, можно сказать следующее: в профиле сварного шва на его внешней стороне отмечается увеличение напряжений в местах присоединения материала сварного шва к основному металлу, хотя посередине сварного шва наблюдается разгрузка. На внутренней поверхности сварного шва в области провара арматуры также отмечена концентрация напряжений. Однако следует заметить, что величина концентрации напряжений не может

существенно повлиять на несущую способность основной конструкции.

Установлено (рис. 6), что в сварном шве распределение напряжений не является равномерным. Наиболее значительная концентрация напряжений наблюдается в местах переходов от шва к основному металлу и колеблется от 693 до 1560 МПа. Эти участки стыкового соединения наиболее уязвимы при приложении растягивающих нагрузок, так как в данных зонах напряжения значительно превышают предел текучести. В центре сварного шва значения напряжений по мере перехода к границе соединения с арматурой изменяются от 173 до 346 МПа. Увеличение фрагментации расчетной схемы не оказало влияния на сходимость результатов.

Аналогичным образом были сгенерированы конечно-элементные модели с различными диаметрами поперечной арматуры крестообразного соединения – 4, 5, 6, 8, 10 мм. Графики, которые показывают значения напряжений, возникающих в сварном шве, в зависимости от вариации диаметров присоединяемой арматуры, представлены на рис. 7–11. На графиках приведены минимальное, среднее и максимальное значения напряжений в сварном шве для каждого типа крестообразного соединения. В большинстве случаев напряжения уменьшаются с увеличением диаметра привариваемой арматуры. Во всех случаях максимальные напряжения возникают в месте сварки с наименьшей площадью сечения.

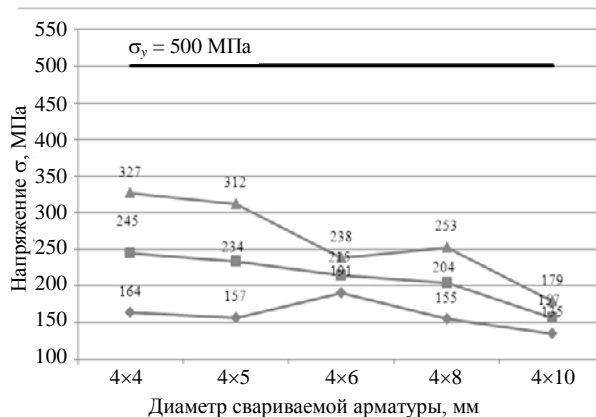


Рис. 7. Зависимость напряжений, возникающих в сварном шве, от диаметров стержней, присоединяемых к арматуре: $d = 4$ мм

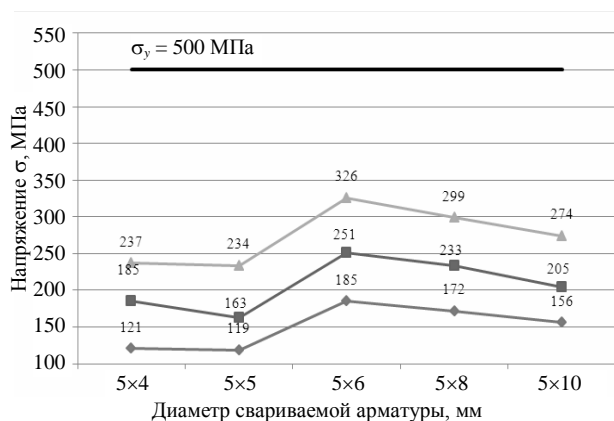


Рис. 8. Зависимость напряжений, возникающих в сварном шве, от диаметров стержней, присоединяемых к арматуре: $d = 5$ мм

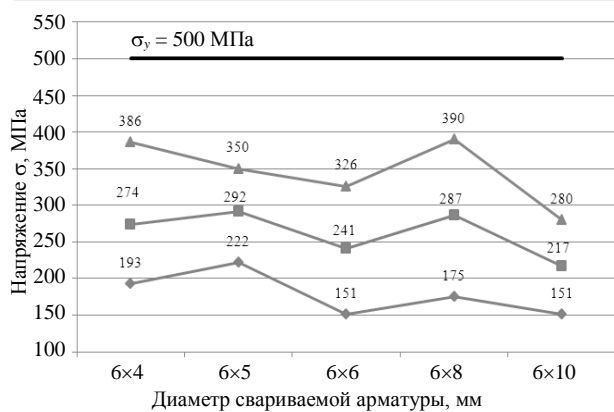


Рис. 9. Зависимость напряжений, возникающих в сварном шве, от диаметров стержней, присоединяемых к арматуре: $d = 6$ мм

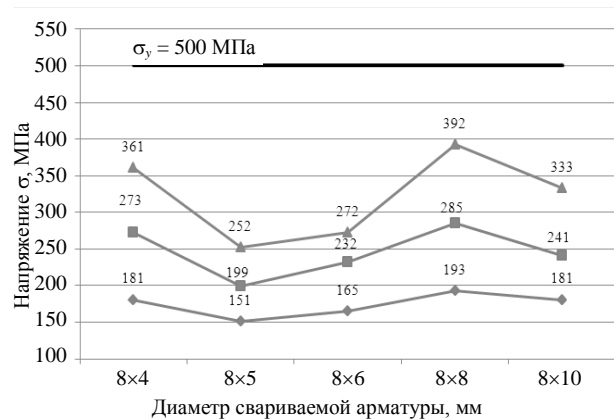


Рис. 10. Зависимость напряжений, возникающих в сварном шве, от диаметров стержней, присоединяемых к арматуре: $d = 8$ мм

При дальнейшем повышении нагрузки напряжения растут прямо пропорционально ее увеличению. При приложении к соединению

разрывной нагрузки (установленной ранее экспериментально [1, 2]) значения напряжения на границе сварного соединения и сварного шва достигают предела текучести и соответственно происходит разрушение соединения. Таким образом, установлено, что запас прочности для такого типа соединений в среднем составляет от 30 до 60 %.

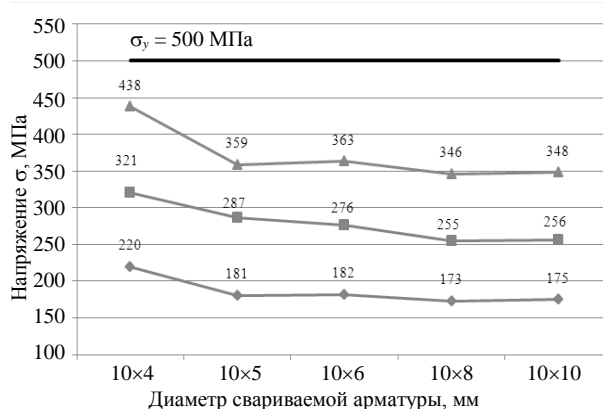


Рис. 11. Зависимость напряжений, возникающих в сварном шве, от диаметров стержней, присоединяемых к арматуре: $d = 10$ мм

Расчетные данные хорошо согласуются с ранее полученными экспериментальными, что свидетельствует о правильности выбора расчетных схем и нагрузок [3, 9, 10].

ВЫВОДЫ

1. Впервые с помощью вычислительной техники и программ трехмерного моделирования разработана пространственная конечно-элементная модель сварного крестообразного соединения арматуры малых диаметров. С использованием современных методов численных расчетов элементов конструкций уточнено напряженно-деформированное состояние узла сварного крестообразного соединения из арматуры в условиях упруго-пластической стадии нагружения. Степень адекватности математических моделей и описываемых ими процессов проверяли по экспериментальным данным.

2. Выявлено, что максимальный уровень растягивающих напряжений наблюдается в зоне сварного шва и арматуры с наименьшей площадью соприкосновения. При дуговой сварке оси арматурных стержней не пересекаются. Поэтому по сравнению с контактно-точечной сваркой происходит рост напряже-

ний, обусловленный несимметричностью сечения в месте соединения стержней.

3. Анализ полученных эквивалентных напряжений в узлах и деталях конструкции сварного шва показал, что для рассмотренных условий нагружения они не превышали допустимых для всех диаметров. Запас прочности для такого типа соединений в среднем составляет от 30 до 60 %. Расчетные значения напряжений на поверхности сварного узла (распределение осевого напряжения по окружности на уровне сварного шва) удовлетворительно согласуются с данными натурных испытаний – разрыв по арматуре в зоне сопряжения сварного шва и арматуры. Это подтверждает правильность выбора расчетных схем и достоверность получаемых результатов численного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Харевич, Т. В.** Организация сварочного производства: день сегодняшний / Т. В. Харевич // Республиканская строительная газета. – 2012. – № 24 (477). – С. 6.
2. **Куркин, А. С.** Прямое математическое моделирование процесса разрушения сварных конструкций для определения их прочности и трещиностойкости: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.06 / А. С. Куркин. – М., 1997. – 250 с.
3. **Врублевская, В. В.** Исследование прочности крестообразных соединений из стальной арматуры малых диаметров, выполненных дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа / В. В. Врублевская, А. А. Васильев, Д. М. Гурский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 3. – С. 35–41.
4. **Городецкий, А. С.** Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – М.: Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2009. – 360 с.
5. **Эрдеди, Н. А.** Сопrotивление материалов: учеб. пособие для бакалавров / Н. А. Эрдеди, А. А. Эрдеди. – М.: ООО «КноРус», 2012. – 160 с.
6. **Железобетонные конструкции.** Основы теории, расчета и конструирования / Н. П. Блещик [и др.]; под общ. ред. Т. М. Пецольда и В. В. Тура. – Брест: БГТУ, 2003. – 380 с.
7. **Чигарев, А. В.** ANSYS для инженеров: справ. пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение. – 2004. – 512 с.
8. **Изделия арматурные сварные для железобетонных конструкций.** Технические условия: СТБ 2174–2011. – Введ. 2011.02.23. – Минск: Госстандарт, 2011. – 46 с.
9. **Врублевская, В. В.** Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния сварного

соединения арматурных стержней / В. В. Врублевская, А. О. Шимановский, А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 60–63.

10. **Vrubleuskaya, V.** Computer Modeling of the Welded Rebars Joint Stress-Strain Condition / V. Vrubleuskaya, A. Shimanovsky // *Technolog / Žilin: Žilinska Univerzita.* – 2013. – № 4. – P. 259–261.

REFERENCES

1. **Kharevich, T. V.** (2012) Organization of Welding Production: nowadays. *Respublikanskaya Stroitel'naya Gazeta* [Republican Construction Newspaper], 24 (477), 6 (in Russian).
2. **Kurkin, A. S.** *Priamoe Matematicheskoe Modelirovaniye Protssessa Razrusheniia Svarnykh Konstruktсии Dlia Opredeleniia Ikh Prochnosti i Treshchinostoikosti. Dis. D-ra Tekhn. Nauk* [Direct Mathematical Modeling of Destruction Process in Welded Structures for Determination of Their Strength and Crack-Resistance. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 1997. 250 p. (in Russian).
3. **Vrubleuskaya, V. V.,** Vasiliev, A. A., & Gursky, D. M. (2013) Investigation of Cross-Shaped Connections of Steel-Rebars Having Small Diameter Which Made With the Help of Arc Welding by Semi-Automatic Machine in the Active Gas Medium. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye Nauki.* [Bulletin of the Polotsk State University. Series. B. Industry. Applied Sciences], 3, 35–41 (in Russian).
4. **Gorodetsky, A. S.,** & Evzerov, I. D. (2009) *Computer Model of Structures.* Moscow, Publishing House of Association of Construction HEIs. 360 p. (in Russian).
5. **Erdedi, N. A.,** & Erdedi, A. A. (2012) *Material Resistance.* Moscow, KnoRus. 160 p. (in Russian).
6. **Bleshchik, N. P.,** Zhukov, D. D., Lazovskii, D. N., Kazachek, V. G., Kondratchik, A. A., Petsol'd, T. M., Podobed, D. P., Rak, N. A., Tur, V. V., & Shubert, I. M. (2003) *Reinforced Concrete Structures. Fundamentals of Theory, Calculation and Designing.* Brest: Brest State Technical University. 380 p. (in Russian).
7. **Tchigarev, A. V.,** Kravchuk, A. S., & Smaliuk, A. F. (2004) *ANSYS for Engineers.* Moscow, Mashinostroenie. 512 p. (in Russian).
8. **STB 2174–2011.** Reinforcement Welded Units for Reinforced Concrete Structures. Technical Specifications. Minsk: Gosstandart, 2011. 46 p. (in Russian).
9. **Vrubleuskaya, V. V.,** Shimanovsky, A. O., & Vasiliev, A. A. (2013) Computer Modeling of Stressed-Deformed State of Re-Bar Joint Connection. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Technology], 2, 60–63 (in Russian).
10. **Vrubleuskaya, V.,** & Shimanovsky, A. (2013) Computer Modeling of the Welded Rebars Joint Stress-Strain Condition. *Technolog. Žilin: Žilinska Univerzita,* 4, 259–261.

Поступила 07.04.2014