

УДК 624.012.3

## К ВОПРОСУ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНЫХ ШВОВ В СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

**Е.Г. Кремнева**

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь  
e-mail: e.kremneva@psu.by

*В статье рассмотрены стадии напряженно-деформированного состояния контактного шва составных конструкций, полученные на основании расчетной модели с помощью программного комплекса ANSYS Workbench. Отмечена сходимость результатов натурного эксперимента с расчетным.*

**Ключевые слова:** составная конструкция, напряженно-деформированное состояние, контактный шов, расчетная модель, программный комплекс ANSYS Workbench.

## ON THE ISSUE OF STRESS-STRAIN STATE OF CONTACT JOINTS IN COMPOSITE CONCRETE STRUCTURES

**A. Kremneva**

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus  
e-mail: e.kremneva@psu.by

*The article considers the stages of the stress-strain state of the contact seam of composite structures, obtained on the basis of a computational model using the ANSYS Workbench software package. The convergence of the results of the field experiment with the calculated one is noted.*

**Keywords:** composite structure, stress-strain state, contact seam, calculation model, ANSYS Workbench software package.

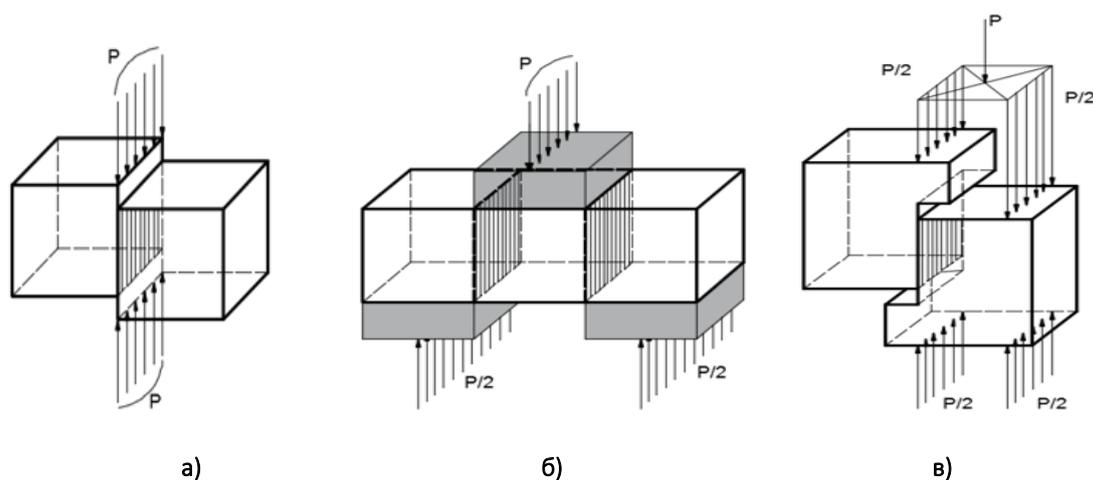
На сегодняшний день составные конструкции используются в строительстве повсеместно – это сборное строительство, монолитное возведение зданий и сооружений, сборно-монолитное строительство, усиление конструкций при реконструкции, а также строительство с помощью 3D-принтеров как целых зданий, так и отдельных элементов.

Развитие и внедрение новых материалов, технологий диктует необходимость сочетания в составной конструкции слоев, отличающихся по своим свойствам [1–3]. Следует отметить, что при сдвиге слоев в составной конструкции друг относительно друга, контактные швы имеют весьма сложный характер работы, зависящий от многих факторов. С этим связана противоречивость получаемых результатов многими исследователями. В то же время, от напряженно-деформированного состояния контактного шва, зависит совместная работа примыкающих к контактному шву элементов конструкции и несущая способность конструкции в целом [1–3].

К настоящему времени выполнено значительное количество экспериментально-теоретических исследований сопротивления срезу контактных швов, некоторым исследованиям уже почти 100 лет [1]. Однако, до сих пор, не выработано достаточно надежных, физически обоснованных и единообразных методов оценки работы контактного шва с начальных этапов нагружения составной конструкции, вплоть до ее разрушения.

На базе Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой проводятся исследования контактных швов в строительстве, выполнено достаточное количество натуральных экспериментов, оценивающих сопротивление срезу составной конструкции [2; 3; 5]. Для совершенствования методов оценки сопротивления срезу контактных швов на основе анализа существующих подходов и экспериментальных данных с учетом имеющегося программного комплекса ANSYS Workbench, были созданы расчетные модели, которые позволили оценить напряженно-деформированное состояние контактного шва под нагрузкой [5].

Для создания моделей было выбрано три схемы, чаще всего используемых в натуральных исследованиях, рисунок 1.



а) схема испытания К. Хагера; б) схема испытания Е. Мерша; в) схема испытания А.А. Гвоздева

Рисунок 1. – Общие схемы испытания контактного шва составной конструкции на срез

Расчетная модель составной конструкции состояла из двух элементов и одного контактного шва. В основе моделей использовались схемы испытаний К. Хагера и А.А. Гвоздева. Однако данные схемы, при разработке расчетных моделей, нуждались в корректировке и введении ограничений, отличных от натуральных схем испытаний. Было разработано несколько моделей.

Для проведения численного эксперимента была разработана расчетная Модель 1, рисунок 2.

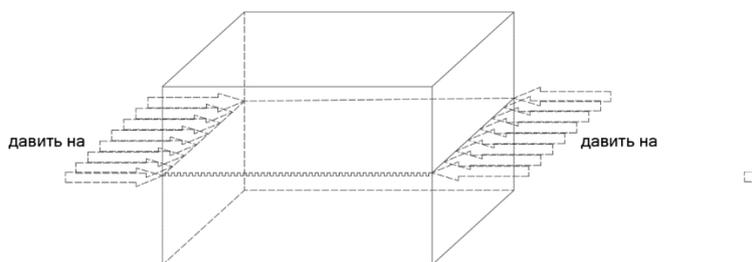
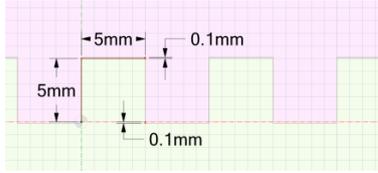
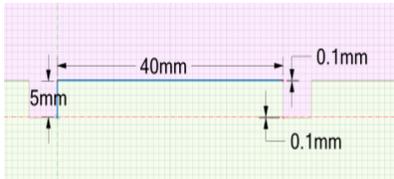


Рисунок 2. – Общие вид расчетной Модели 1.

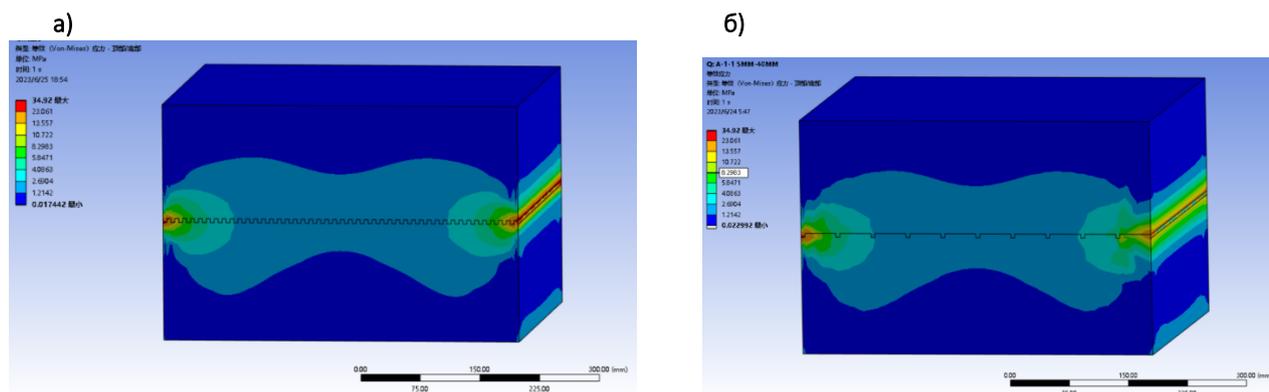
Модель 1 состояла из двух частей: бетона намоноличивания (нового бетона) и сборного (старого) бетона. В зоне контактного шва шероховатость создавалась путем создания шпоночной системы «паз-ребень». Было выполнено несколько вариантов создания шероховатостей. Для образца Модели 1 А1 создана шпоночная поверхность контакта с размером «паз-ребень» 5 мм, что в натуральных образцах соответствует шероховатости 5 мм. Для Модели 1 образца А4

создана шпоночная поверхность с пазом глубиной и шириной 5 мм, и расстояниями между ними 40 мм, что в натуральных образцах соответствует шероховатости в виде насечек глубиной 5 мм на базовой длине 40 мм, образованной реечным скребком [4]. Общий вид контактного шва в образцах Модели 1 показан в таблице 1 [5].

Таблица 1. – Контактный шов составной конструкции

Модель 1, образец	Шероховатость и насечки	Описание подготовленной поверхности бетона *
A-1		Создана шероховатость с размерами «паз-гребень» 5мм
A-4		Созданы насечки, чередующиеся через 40мм, глубиной 5мм

В Модели 1 составной конструкции характер приложения сил к торцам элементов был таким, что равнодействующая проходила строго по контактному шву. При этом на каждой стадии нагружения анализировалось напряженно-деформированное состояние контактного шва составной конструкции. На рисунке 3 показано напряженно деформированное состояние контактного шва на стадии, предшествующей разрушению [5].



а) Модель 1 образец A1; б) Модель 1 образец A4

Рисунок 3. – Напряженно-деформированное состояние контактного шва составной конструкции

В ходе моделирования процесса развития напряжений по контактному шву составной конструкции установлено, что распределение напряжений по контактному шву происходит неравномерно. Сначала начинают включаться в работу краевые зоны контактного шва и далее развитие происходит пропорционально приложению нагрузки к центру контактной поверхности. Однако, в центре контактного шва, предельные напряжения не наблюдаются.

Расчетная модель контактного шва, реализованная в ANSYS Workbench, показала распределение напряжений в зоне контактного шва, характерное для натуральных экспериментов, проведенных в Полоцком государственном университете имени Евфросинии Полоцкой [2; 3].

Таким образом, на основании проведенного численного эксперимента по расчетной модели М1 контактного шва составной конструкции можно сделать следующие выводы.

1. Расчетная модель контактного шва, реализованная в ANSYS Workbench, показала распределение напряжений в зоне контактного шва, характерное для натуральных экспериментов, проведенных в Полоцком государственном университете имени Евфросинии Полоцкой.

2. Проведенные эксперименты показали, что вид шероховатости поверхности с базовой длиной 5 и 40мм имеют практически одинаковое развитие напряжений в зоне контактного шва.

Исследования показали неполное вовлечение в работу на сдвиг контактного шва, сначала начинают включаться в работу краевые зоны контактного шва и далее развитие происходит пропорционально приложению нагрузки. Однако в центре контактного шва предельные напряжения не наблюдаются. В связи с этим в расчеты по сопротивлению сдвигу контактного шва необходимо вводить коэффициенты зависимости вовлечения площади контактного шва в работу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев, А.А. Изучение сцепления нового бетона со старым в стыках сборных железобетонных конструкций и рабочих швах / А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев. – М.: ОНТИ ЦНИЛС, 1936. – 36 с.
2. Кремнева, Е.Г. Контактные швы в железобетонных составных конструкциях / Е.Г. Кремнева, Е.В. Хаменок // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Прикладные науки. – 2011. – № 8. – С. 48-52.
3. Кремнева, Е.Г. Об использовании модифицированных бетонов при усилении железобетонных конструкций / Е.Г. Кремнева, О.П. Чикалина // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2004. – N 6. – С. 42-46.
4. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции / Министерство архитектуры и строительства. – Минск, 2003. – С. 72.
5. Lin KaiKai. Ensuring the strength of contact seams of composite concrete structures in construction practice: A MASTER'S THESIS//Specialty 1-70 80 01 «Construction of buildings and structure». – Novopolotsk, 2023. – 56 p.