

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

УДК 624.012.4, 624.014.2

DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.1

## Экспериментальные исследования силы сцепления стальной оцинкованной пластины и бетона

Т.И. Ахрамочкина

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Приведены данные экспериментальных исследований по определению силы сцепления стальной оцинкованной пластины и бетона. Испытания проводились на четырех образцах. Прямоугольные пластины, замоноличенные в бетонный параллелепипед, имели разные типы поверхностей: гладкая, перфорированная отверстиями, с соединительными элементами в виде болтов, с выштампованными «шипами». Проанализировано поведение образцов при загрузке, даны диаграммы зависимости перемещений от нагрузки и определено расчетное сопротивление для расчета силы сцепления бетона и стальной оцинкованной пластины.

**Материалы и методы.** Осуществлены испытания четырех образцов, которые состояли из стальной оцинкованной пластины, замоноличенной в бетонный параллелепипед. Эксперимент проводился на установке, состоящей из силовой рамы и гидравлического цилиндра, который выдвигал из бетонного параллелепипеда стальную пластину.

**Результаты.** Получены зависимости деформирования образцов, построены графики зависимости перемещения от нагрузки для четырех типов подготовки поверхностей, выявлены значения нагрузки, при которой происходит разрушение образцов и зависимость разрушающей нагрузки от конструкции замоноличенной части пластины. Установлен характер разрушения бетона на границе с оцинкованной пластиной.

**Выводы.** Результаты эксперимента позволяют сделать вывод о том, что в композитных конструкциях с применением гнутых профилей обеспечение совместной работы бетона и стальной балки возможно без использования дополнительных элементов. Адгезионные свойства материалов и выштампованная часть профиля способны воспринимать сдвигающие усилия, возникающие в конструкциях. Для более точного расчета перекрытий с применением гнутых профилей планируется провести дополнительные экспериментальные исследования. В этих экспериментах будут испытаны образцы, в которых гнутый профиль замоноличен в бетон.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сцепление металла с бетоном, соединительные элементы, сталежелезобетонное перекрытие, выштамповки, стальная оцинкованная пластина, прочность сцепления

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Ахрамочкина Т.И. Экспериментальные исследования силы сцепления стальной оцинкованной пластины и бетона // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 2. Ст. 1. URL: <http://nso-journal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.1

## Experimental studies of the adhesion force between a zinc-coated steel plate and concrete

Tatiana I. Akhramochkina

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow,  
Russian Federation*

### ABSTRACT

**Introduction.** The co-authors present the findings of experimental studies of the adhesion force arising between a zinc-coated steel plate and concrete. Four specimens were used in testing. Rectangular plates, embedded in a concrete parallelepiped, had different types of surfaces. They were smooth, perforated with holes, or they had connecting elements such as bolts or spikes. The behavior of specimens under loading is analyzed; graphs, describing the dependency between displacements and loading are provided, and the design resistance is determined to analyze the adhesion force between concrete and a zinc-coated steel plate.

**Materials and methods.** Four specimens were used in testing. Each specimen represented a zinc-coated steel plate embedded in a concrete parallelepiped. A test bench, consisting of a load frame and a hydraulic cylinder, which pulled the steel plate out of a concrete parallelepiped, was used in the experiment.

**Results.** Deformation dependences of specimens were obtained, graphs describing the dependence of displacement on loading were drawn for four types of surfaces, loading values that trigger the failure of specimens and dependence between

the loading value, that triggers the failure, and the structure of the embedded part of the plate, are identified. The nature of the concrete failure at the interface with a zinc-coated plate is tracked.

**Conclusions.** The results of the experiment enable us to conclude that the joint action of concrete and a steel beam is possible without the use of additional elements in composite structures that have bent profiles. The adhesion properties of materials and the stamped part of the profile are capable of absorbing shear forces arising in structures. For a more accurate analysis of floor slabs that contain bent profiles, additional experimental studies are to be conducted. Specimens, having bent profiles embedded in concrete, will be tested in the course of these experiments.

**KEYWORDS:** metal to concrete adhesion, connecting elements, steel-reinforced concrete floors, slotting, zinc-coated steel plate, adhesion strength

**FOR CITATION:** Akhramochkina T.I. Experimental studies of the adhesion force between a zinc-coated steel plate and concrete. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2021; 11(2):1. URL: <http://nso-journal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.1 (rus.).

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения работоспособности и требуемой несущей способности сталежелезобетонных систем необходимо выбрать простой и эффективный способ соединения железобетона со стальным профилем, применение которого обеспечит их совместную работу [1, 2]. Наиболее распространенным методом решения этой задачи является использование соединительных элементов. В качестве таких элементов могут выступать жесткие или гибкие упоры, стаб-болты, высокопрочные болты и шпильки [3–5]. Однако соединительные элементы усложняют расчет и производство конструкции, повышают стоимость [6].

Важными факторами, обеспечивающими совместную работу композитной конструкции, служат:

- механическое сцепление, возникающее при сопротивлении бетона усилиям смятия и среза и обусловленное возможными неровностями стального профиля;
- силы трения и обжатия, возникающие благодаря усадке бетона при твердении цементной смеси;
- химическое взаимодействие массы цементного вяжущего с поверхностью металла, процессы адгезии [7].

С целью оценки сил сцепления между бетоном и гнутым профилем проведены испытания образцов, в которых стальные пластины взаимодействуют с бетоном без применения дополнительных соединительных элементов [8, 9]. Цель экспериментальных исследований — определение прочности сцепления бетона и стальной тонкостенной оцинкованной пластины при сдвиге [10–13].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выявления усилия, воспринимаемого за счет сил сцепления между стальной оцинкованной пластиной и бетоном, испытан ряд образцов. Испытания осуществлялись на установке, состоящей из силовой рамы и гидравлического цилиндра, который выдерживал из бетонного параллелепипеда стальную пластину. Бетонный параллелепипед упирался в два упора, закрепленных на силовую раму неподвижно. На рис. 1 показан общий вид образца с оснасткой.

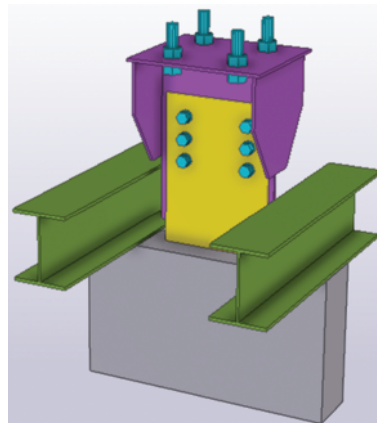


Рис. 1. Общий вид образца с оснасткой

На рис. 2 представлены чертежи образца и узла крепления пластины к гидроцилиндру.

Для испытаний были подготовлены 4 варианта экспериментальных образцов. У всех образцов бетонный параллелепипед имел размеры  $700 \times 400 \times 150$  мм. Стальные оцинкованные пластины толщиной 3 мм, длиной 720 мм и шириной 300 мм заводились в бетон на глубину 300 мм. Выбор толщины плиты и стальной пластины позволил рассмотреть взаимодействие бетона и стальной пластины в условиях, близких к тем, при которых они будут взаимодействовать в перекрытии. Пластина крепилась к гидроцилиндру испытательной машины шестью болтами M20.

Рассмотрено четыре типа образцов, которые отличались друг от друга особенностями замоноличенных в бетон участков стальной пластины:

- образец № 1 — замоноличенный участок оцинкованной стальной пластины гладкий (рис. 3, а), сцепление с бетоном достигается за счет адгезионных свойств материалов;
- образец № 2 — замоноличенный участок оцинкованной стальной пластины имеет восемь отверстий диаметром 22 мм (рис. 3, б), сцепление с бетоном достигается за счет адгезионных свойств материалов и формирования небольших бетонных шпонок;
- образец № 3 — на замоноличенном участке пластины выполняется 8 отверстий диаметром 10 мм, в которые устанавливаются болты диаметром 8 мм,

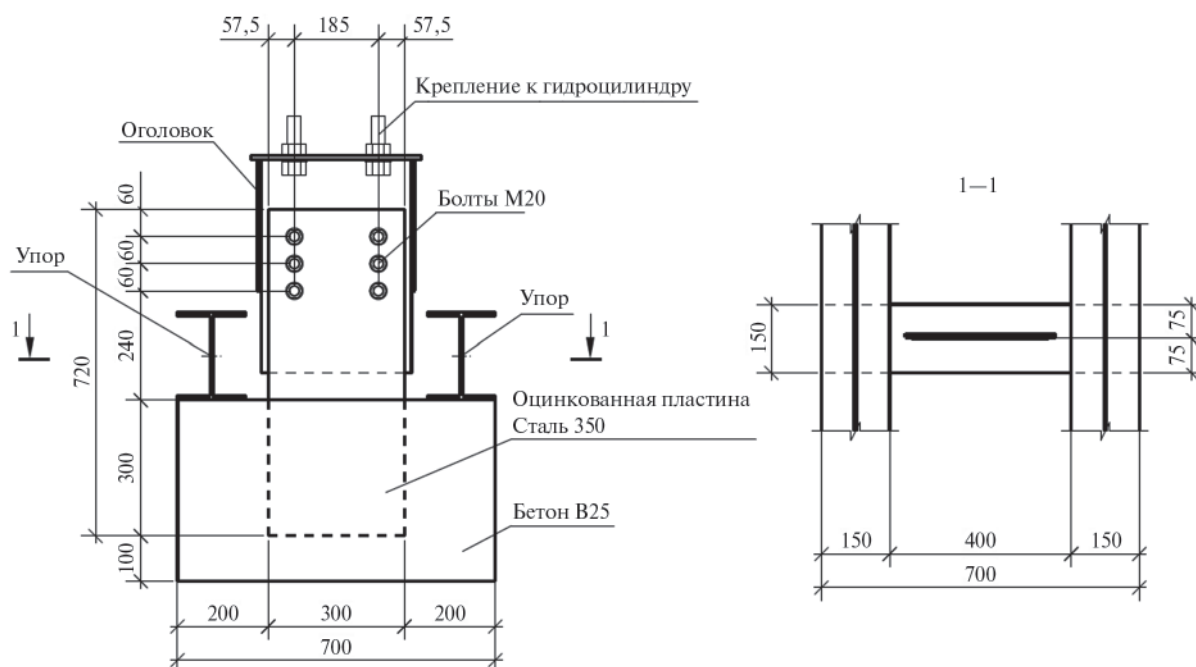


Рис. 2. Чертежи образца и узла крепления пластины к прессу

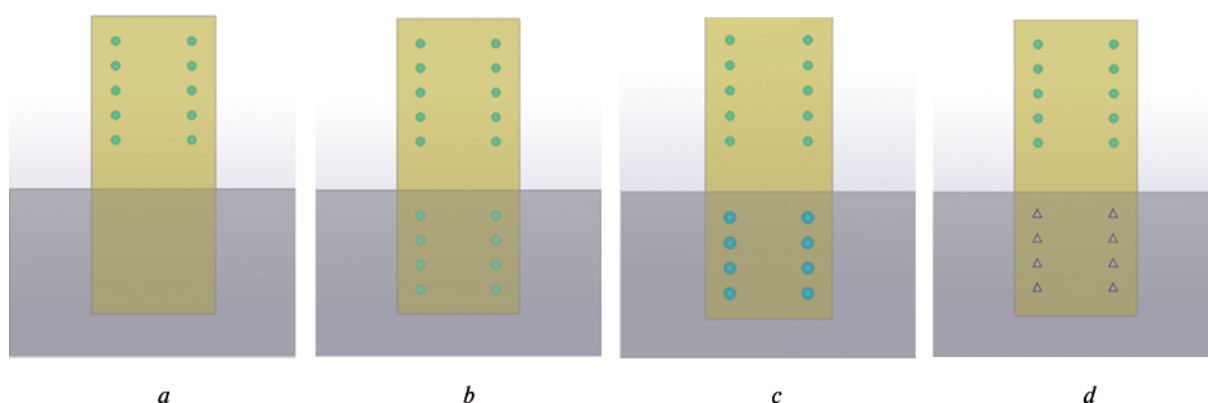


Рис. 3. Экспериментальные образцы № 1 (a); № 2 (b); № 3 (c); № 4 (d)

длиной 40 мм, увеличивающие сцепление пластины с бетоном (рис. 3, c). Данный вид соединений исследовался в работах [14, 15];

- образец № 4 — на замоноличенном участке пластины выштамповывается 8 отогнутых на 90 градусов от плоскости пластины треугольных равно-сторонних шипов размерами 20 мм, которые увеличивают сцепление пластины с бетоном (рис. 3, d).

Пластины изготовлены из оцинкованной стали марки 350 по ГОСТ Р 52246-2016 «Прокат листовой горячеоцинкованный». В соответствии с СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов» расчетное сопротивление этой стали по пределу текучести  $R_y = 330$  МПа.

Образцы выполнены из бетона класса прочности В25. Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию  $R_b = 14,5$  МПа. Расчетное сопротивление бетона

осевому растяжению  $R_{bt} = 1,05$  МПа. Расчетное сопротивление бетона на срез  $R_{sh} = 2R_{bt} = 2,1$  МПа. Болты, использованные в образце № 3, имеют класс прочности 8,8.

Испытания образцов осуществлялись на базе Головного регионального центра коллективного пользования НИУ МГСУ. В эксперименте применялась силовая рама для статических испытаний с закрепленным на ней гидроцилиндром. Общий вид установки для испытаний показан на рис. 4.

При проведении эксперимента бетонный параллелепипед верхней гранью упирается в поперечные элементы, расположенные в нижней части силовой рамы. Стальная пластина крепится к гидроцилиндру через оголовок при помощи болтов М20. Упоры силовой рамы закреплены абсолютно жестко, возможность их перемещения исключена. Для измерения перемещений стальной пластины относительно бе-