

**Мещеряков Виктор Михайлович**

Meshcheryakov Viktor

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State Building University

Профессор кафедры технической эксплуатации  
и сервиса автомобилей и оборудования

Professor of technical maintenance and service vehicles and equipment

**Косенко Евгений Евгеньевич**

Kosenko Evgeny

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State Building University

Доцент кафедры технической эксплуатации  
и сервиса автомобилей и оборудования

Assistant professor of technical maintenance and service vehicles and equipment

**Косенко Вера Викторовна**

Kosenko Vera

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State Building University

Доцент кафедры технической эксплуатации  
и сервиса автомобилей и оборудования

Assistant professor of technical maintenance and service vehicles and equipment

**Черпаков Александр Владимирович**

Cherpakov Alexander

Научно-исследовательский институт механики и прикладной математики им.

Воровича И. И. Южного федерального университета, Ростов-на-Дону.

Мл. научн. сотр. лаборатории физики прочности и механики разрушения

E-Mail: A123lok@mail.ru

## Моделирование напряженного состояния арматуры железобетонных конструкций, с учетом влияния концентраторов напряжений в виде периодического профиля

Modeling of stress condition of reinforcement concrete structures, with the influence of stress raisers in the form of a periodic profile

**Аннотация:** В статье экспериментально определено распределение твердости в сечении арматурных сталей классов А500С и Ат800. Рассмотрены диаграммы растяжения натуральных образцов и образцов с удаленными концентраторами напряжений, в виде периодического профиля. Исследования проводились на образцах в состоянии поставки и упрочненных одноосным растяжением до различных уровней. Приведен анализ результатов проведенных экспериментов.

**The Abstract:** The paper experimentally determined distribution of hardness in the cross section of reinforcing steel with А500S and Ат800. Consider the diagram expansion of natural samples and samples with remote stress concentrators in the form of periodic profile. The studies were conducted on the samples as received and reinforced uniaxial tension to varying degrees. The analysis of the results of the experiments conducted.

**Ключевые слова:** Концентраторы, арматура, одноосное растяжение, ударное вдавливание.

**Keywords:** Hubs, valves, uniaxial tensile, impact indentation.

\*\*\*

Свойства арматуры, применяемой при производстве железобетонных конструкций, тесно связаны с ее химическим составом и структурой, что выражается большой группой упругих и механических характеристик [1]. Небольшие отклонения химического состава исходных и промежуточных материалов, технология изготовления, наличие концентраторов напряжений в виде периодического профиля объясняют случайный характер распределения механических характеристик. Наличие концентраторов напряжений в виде периодического профиля, изменчивость механических свойств по сечению создают сложное напряженно-деформированное состояние при растяжении, особенно это касается современных видов арматуры, характеризующихся значительной изменчивостью свойств по сечению. В связи с этим, определение изменения механических характеристик по сечению и их связь с механическими свойствами натуральных образцов, являются одной из задач настоящей работы.

Ранее проведенными исследованиями [3, 4, 5] рассматривался вопрос поведения арматурных сталей в различных напряженных состояниях. В процессе изготовления у рассматриваемых видов арматуры наряду со сложной структурой сечения [2] создается сложный рельеф поверхности, характеризующийся наличием концентраторов напряжений, в виде периодического профиля и соответственно различными отклонениями значений диаметра. При работе арматуры в условиях повышенных нагрузок, напряжение в поверхностном слое будут больше, в отличие от сердцевины [4]. При исследовании влияния упругопластического деформирования на свойства материала арматуры, важно учитывать влияние концентраторов напряжений, т. к. при упрочнении одноосным растяжением арматуры длиной 6 и более метров (например, до коэффициента упрочнения  $K_u = 1,05 \sigma_T$ ), действие концентраторов в виде периодического профиля значительно усиливается.

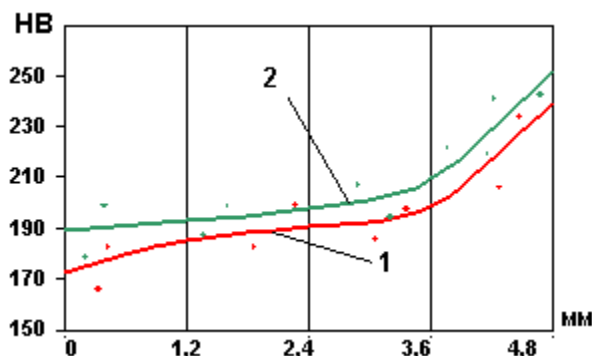
Для определения влияния различных факторов на арматурный стержень, в процессе его упрочнения одноосным растяжением, решено провести ряд экспериментов связанных с определением: изменчивости свойств в сечении арматурных стержней, влияния концентраторов напряжений на диаграммы растяжения зон материала в сечении арматуры. Результаты проведенных экспериментов будут использованы исследования работы арматуры в упругопластической области и для создания конечно-элементной модели стержня, которая позволит наглядно определить наиболее опасные сечения в арматурном стержне при его упрочнении одноосным растяжением.

Для определения механических характеристик в сечении арматуры использовался неразрушающий метод, основанный на ударном вдавливании усеченного индентора [3].

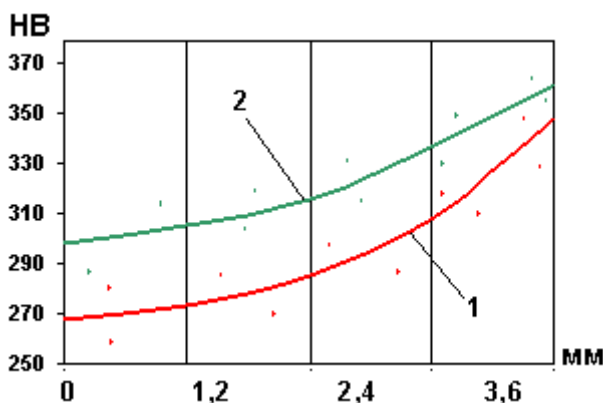
Для исследования свойств сечения арматурных стержней в состоянии поставки и после упрочнения одноосным растяжением, сопоставления этих значений с характеристиками натурных образцов разработана методика эксперимента с использованием термомеханически упрочненных арматурных стержней классов А500С и Аt800 диаметром 12 и 14 мм, периодического профиля. Количество образцов для каждого эксперимента составило в среднем 60 шт. В процессе проведения эксперимента оценивали распределение характеристик в сечении на примере твердости, для определения которой изготовили образцы из арматуры в состоянии поставки диаметром 12 мм и длиной 20 мм. Каждый образец поместили в стальное кольцо диаметром 22,4 мм, высотой 20 мм и толщиной стенки 2 мм. Пространство между образцами и кольцом заполнили эпоксидной смолой и выдержали положенное время для ее отверждения (рис. 1). После полировки измеряли твердость по Виккерсу. Результаты измерений представлены в виде графических зависимостей (рис. 2, 3).



*Рис. 1. Образец для измерения твердости в сечении арматуры*



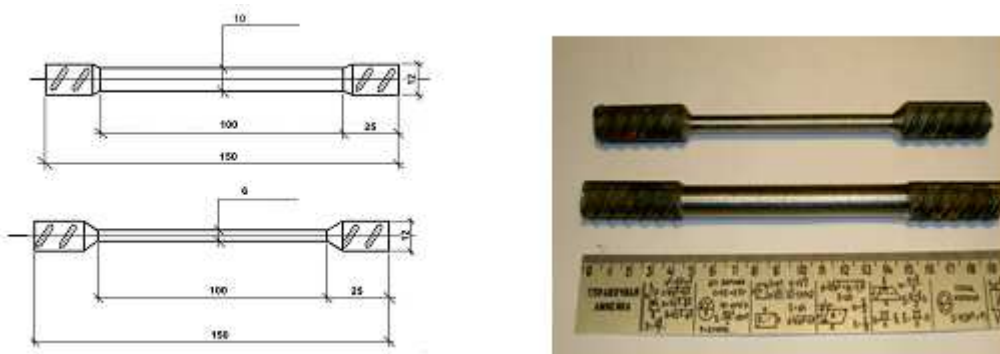
*Рис. 2. Распределение твердости в сечении арматурной стали класса А500С диаметром 12 мм: 1 – в состоянии поставки; 2 – упрочненная вытяжкой до  $K_u = 1,15\sigma_t$  ( $\epsilon = 6\%$ )*



**Рис. 3.** Распределение твердости в сечении арматуры класса Ат800 диаметром 12 мм: 1 – в состоянии поставки; 2 – упрочненная вытяжкой до  $K_u = 1,15\sigma_t$  ( $\epsilon=2,5\%$ )

При проведении испытаний акцент сделан на исследование арматуры классов А500С и Ат800, т. к. после термомеханической обработки в потоке проката и приобретения сложной структуры сечения, рассматриваемые классы арматуры могут использоваться в качестве нагружаемой. При анализе зависимостей видно, что у арматуры, находящейся в состоянии поставки, твердость в центре значительно ниже, чем в поверхностном слое, что характерно для термомеханически упрочненных сталей. Упрочнение одноосным растяжением приводит к незначительному и равномерному увеличению твердости, что можно объяснить общим напряженным состоянием арматуры и снижением пластичности.

Учитывая то, что в составе железобетонной конструкции арматура испытывает растягивающие воздействия, необходимо определить диаграммы растяжения зон материала в сечении. Для определения механических характеристик арматуры без влияния концентраторов напряжений и характеристик сердцевинки изготовили образцы с выточкой на токарном станке с различными диаметрами в месте выточки (рис. 4). Таким образом, у первого типа образцов диаметр в месте выточки составил 10 мм (образцы для определения диаграммы растяжения арматуры без влияния концентраторов напряжений в виде периодического профиля), у второго – диаметр в месте выточки составил 6 мм (образцы для определения диаграмм растяжения центрального слоя арматуры). Выточка производилась по центру образцов длиной 100 мм.



**Рис. 4.** Образцы с выточкой

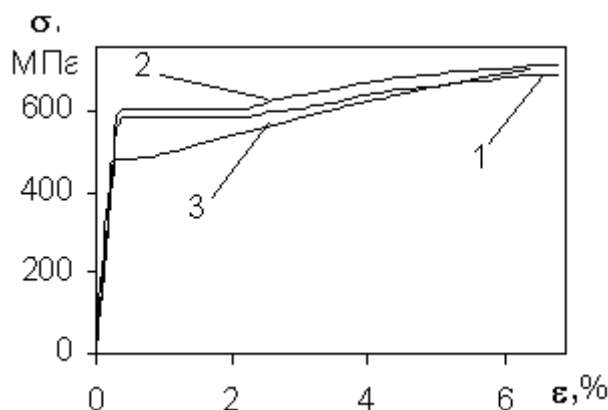
При работе в составе железобетонной конструкции арматура испытывает растягивающие усилия, поэтому основным видом испытаний является разрушение натуральных образцов одноосным растяжением. Для определения необходимой информации проведены эксперименты, для которых изготовили образцы с выточкой двух типов из арматурных сталей классов

A500С и Ат800. Диаграммы растяжения исследуемых типов образцов представлены на рис. 5, 6.

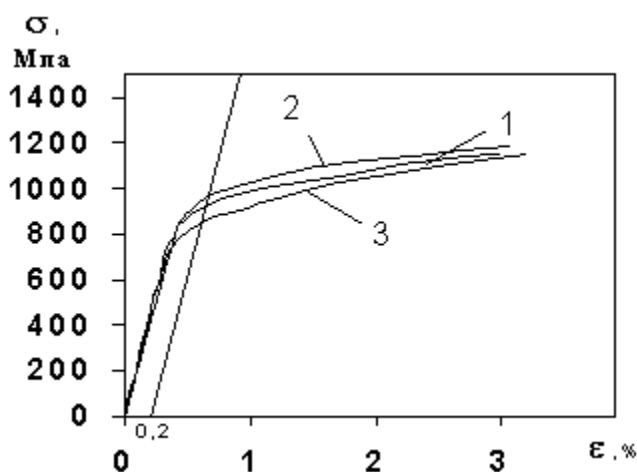
У образцов с выточкой диаметром 10 мм значение механических характеристик несколько выше в сравнении с натурными образцами, что видно из расположения диаграмм. Это указывает на то, что концентраторы напряжения в виде периодического профиля оказывают определенное влияние на свойства арматуры, незначительно снижая прочность арматуры.

Образцы с выточкой диаметром 6 мм выявили более низкие значения предела текучести, чем у натурных образцов. При этом у арматуры класса А500С значения предела текучести ниже на 18 %, у арматуры класса Ат800 - на 8 %. Значения предела прочности соответствуют значениям натурных образцов. Деформации при достижении значений предела прочности у образцов с выточкой несколько выше. Разница составляет около 0,2 %.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов, являются основой для последующих исследований свойств арматурных сталей, проведенных в настоящей работе.



**Рис. 5.** Диаграммы растяжения натурных образцов и образцов с выточкой арматурной стали класса А500С: 1 - натурные образцы без выточки; 2 – образцы с выточкой диаметром 10 мм; 3 – образцы с выточкой диаметром 6 мм



**Рис. 6.** Диаграммы растяжения натурных образцов и образцов с выточкой арматурной стали класса Ат800: 1 - натурные образцы без выточки; 2 – образцы с выточкой диаметром 10 мм; 3 – образцы с выточкой диаметром 6 мм

При исследовании механических характеристик арматурных сталей следует учитывать ряд факторов, влияющих на свойства арматуры и являющихся причиной их изменения, при

воздействии внешних условий [3]. К таким факторам относятся технологические операции, при которых арматура подвергается деформированию и нагреву.

Наличие более прочного поверхностного слоя позволяет арматуре выдерживать усилия, соответствующие характеристикам этого слоя [6]. Несмотря на то, что значения механических характеристик натуральных образцов находятся между значениями поверхностного слоя и сердцевины, вывести корреляционную зависимость достаточно сложно. Причиной этому служит влияние множества факторов, которые делают значения характеристик случайными, даже если характер их распределения остается без изменения. Поэтому значения механических характеристик для различных партий будут различными. Использование метода ударного вдавливания индентора для оценки механических характеристик арматуры неразрушающим способом, возможно только в случае однородной структуры сечения с равномерным распределением механических характеристик по сечению. Проведенные выше эксперименты указывают на необходимость изготовления специальных образцов, как это было проделано в настоящей работе, для определения механических характеристик материала арматуры прошедшей термомеханическое упрочнение.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-90815-мол\_рф\_нр.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мадатян С. А. Новое поколение арматуры железобетонных конструкций// Бетон и железобетон.-1998.-№2.
2. Мадатян С. А. Арматура железобетонных конструкций. – М.: Воентехлит, 2000.
3. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. К вопросу о влиянии геометрических размеров на прочностные характеристики арматурных стале/ Инженерный вестник Дона № 4, 2010 г.
4. Бурцева О.А., Нефедов В.В., Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. Моделирование напряженного состояния арматурных стержней, применяемых при производстве преднапряженных железобетонных конструкций / Инженерный Вестник Дона. №4. 2011 г.
5. Бурцева О.А., Нефедов В.В., Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. Статистическая оценка механических характеристик арматурных стале/ Тр. XV Междунар. конф «Соврем. пробл. механики сплош. ср.», г. Ростов-н-Д., 4-7 декабря 2011 г. Т. II.; Южный фед. унив., Ростов-н-Д. Издательство ЮФУ. 2011. -272.
6. Мещеряков В.М., Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В., Ковалев С.М. К вопросу о прочностных возможностях арматурных стале/ «Строительство-2012» Материалы международной научно-практической конференции.-Ростов н/Д: Рост.гос.строит.ун-т, 2012.-166 стр.