

О.О. ЦЫБА<sup>1,✉</sup>, Н.Н. ТРЕКИН<sup>2,3</sup>, Э.Н. КОДЫШ<sup>3</sup>, Н.Н. БАГЛАЕВ<sup>4</sup>, А.В. ШЕВЧЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Металлургический холдинг «Новосталь-М», ул. Краснопролетарская, д. 4, г. Москва, 127006, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

<sup>3</sup> АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений» (АО «ЦНИИПромзданий»), Дмитровское шоссе, д. 46, корп. 2, г. Москва, 127238, Российская Федерация

<sup>4</sup> КТБ Железобетон, 2-я Институтская ул., д. 6, стр. 64, г. Москва, 109428, Российская Федерация

# ИССЛЕДОВАНИЯ АРМАТУРЫ НОВОГО КЛАССА ПРОЧНОСТИ А550СК

## Аннотация

Высокий уровень качества производства электрометаллургических предприятий позволил достичь малых значений коэффициентов вариации контролируемых параметров и ввести новое значение в номинальный ряд классов арматуры. С целью постановки на производство нового класса прочности арматуры А550СК были проведены исследования на определение комплекса потребительских свойств. Положительные результаты исследований позволили стандартизировать новый класс прочности, применение которого позволит получить экономический эффект за счет снижения расхода стали.

**Ключевые слова:** арматура, железобетон, электрометаллургическое производство, коррозионная стойкость, экономический эффект

**Для цитирования:** Цыба О.О., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Баглаев Н.Н., Шевченко А.В. Исследования арматуры нового класса прочности А550СК // Бетон и железобетон. 2023. № 5/6 (619). С. 62–70. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-62-70](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-62-70)

## Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 09.11.2023*

*Поступила после рецензирования 12.12.2023*

*Принята к публикации 14.12.2023*

O.O. TSYBA<sup>1,✉</sup>, N.N. TREKIN<sup>2,3</sup>, E.N. KODYSH<sup>3</sup>, N.N. BAGLAEV<sup>4</sup>, A.V. SHEVCHENKO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Novostal-M Holding, Krasnoproletarskaya str., 4, Moscow, 127006, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),  
Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

<sup>3</sup> JSC "Central Research and Design Experimental Institute of Industrial Buildings and  
Structures" (JSC "Tsniipromzdaniy"), Dmitrovskoe Shosse, 46, bld. 2,  
Moscow, 127238, Russian Federation

<sup>4</sup> KTB Beton Group, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 64, Moscow, 109428, Russian Federation

# RESEARCH OF REINFORCEMENT OF A NEW STRENGTH CLASS A550SK

## Abstract

The high level of production quality of electrometallurgical enterprises made it possible to achieve small values of the coefficients of variation of the controlled parameters and introduce a new value into the nominal range of reinforcement classes. In order to launch the production of a new strength class of A550SK reinforcement, studies were conducted to determine the complex of consumer properties. The positive results of the research allowed us to standardize a new strength class, the use of which will allow us to achieve an economic effect by reducing steel consumption.

**Keywords:** reinforcement, reinforced concrete, electrometallurgy, corrosion resistance, economic effect

**For citation:** Tsyba O.O., Trekin N.N., Kodysh E.N., Baglaev N.N., Shevchenko A.V. Research of reinforcement of a new strength class A550SK. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 62–70. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-62-70](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-62-70)

## Author contribution statements

The authors contributed equally to this work.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

*Received 09.11.2023*

*Revised 12.12.2023*

*Accepted 14.12.2023*

В настоящее время отечественная строительная отрасль при производстве сборного и монолитного железобетона в полной мере обеспечивается различными видами арматурного проката. Это достигнуто значительным повышением уровня технологического оборудования при производстве металлопроката по всей цепочке от ломозаготовки до готовой продукции. В течение последних 20 лет практически все российские металлургические предприятия провели техническое перевооружение производственных мощностей, также появились новые предприятия, которые, естественно, оснащаются современным оборудованием. Инновации внедряются в процессы плавления металлического лома с получением полупродукта для непрерывно литой заготовки, при добавлении оптимальных композиций химического состава в установку «печь – ковш» с доведением металла по химическому составу согласно необходимым требованиям, при кристаллизации жидкого металла на заготовку, при прокате на различных группах клетей и даже при учете, хранении и реализации продукции.

Широкая дифференциация арматурного проката в РФ связана, прежде всего, с разнообразием климатических зон, сейсмических зон, богатой историей строительной отрасли, с развитыми технологиями сборного, сборно-монолитного и монолитного железобетона.

Расширение ассортимента арматурных сталей предполагает актуализацию действующих и разработку новых нормативных документов как на производство, так и на применение. В [1] описывается процесс внедрения ГОСТ 34028-2016 [2] с обзором новых требований к арматурному прокату, которые не были учтены в прошлых нормативных документах [3–5]. Целью данной статьи не является подробный разбор требований ГОСТ 34028-2016 [2] и сравнение их с требованиями отмененных стандартов [3–5], однако для дальнейшего обоснования разработки нового вида арматуры основные сравнительные моменты необходимо напомнить.

С выходом ГОСТ 34028-2016 [2] на производство арматурного проката был окончательно решен вопрос свариваемости арматуры. Помимо ограниченных верхних и нижних границ углеродного эквивалента для классов A500C и A600C, допускается введение отдельно или по отдельности в любом сочетании легирующих элементов ванадия, ниобия, молибдена в количестве до 0,1 % при их суммарной массовой доле не более 0,15 %.

В части сортамента сделан шаг в сторону его дискретности. Появились новые промежуточные диаметры с шагом 0,5 мм в диапазоне от 4,0 до 10 мм при производстве методом холодной деформации, так и с шагом 1,0 мм в диапазоне от 10 до 20 мм при горячекатаном производстве. Причем сегодня в практике проектирования и строительства встречается горяче-

катаная арматура не только диаметра 11 мм, но и диаметра 13 мм. Введение дополнительного предельного отклонения по массе 1 метра длины проката при поставке «ОМ2» сужает диапазон отклонений и делает отрицательным от номинала средний вес погонного метра при поставке. Производство в допуске «ОМ2» связано с коммерческой составляющей и полностью освоено различными сортавыми заводами в РФ.

В требованиях к периодическому профилю арматуры появились новые виды конфигураций. Так, форма профиля, применяемая при холодной обработке горячекатаного проката и имеющая конфигурацию 4ф по ГОСТ 34028-2016 [2], хорошо зарекомендовала себя при размотке бунта. Практика российских предприятий показала, что четырехсторонний профиль формы 4ф обеспечивает большую технологичность при размотке бунта, исключает кручение по длине, смятие поперечных ребер, износ роликов. Сегодня крупнейшие и передовые отечественные заводы сборного железобетона, в том числе производства модульных конструкций, внедряют технологию применения плотных бунтов рядной смотки с профилем 4ф, что дает экономический эффект от увеличения производительности размоточного и сварочного оборудования и отсутствия окалины (рис. 1). С другой стороны, открываются возможности в части расширения использования горячекатаной арматуры взамен холоднодеформированной, что также положительно сказывается как на экономических показателях, так и на надежности железобетона. Что касается известных профилей с конфигурациями 1ф «кольцевой», 2ф «серповидный европейский» и 3ф «трехсторонний karl», то они вошли в ГОСТ 34028-2016 [2] из отмененных стандартов практически без изменений как наиболее оптимальные.



**Рис. 1.** Произведенная в РФ арматура класса A500CNU повышенной пластичности с четырехсторонним периодическим профилем в бунтах рядной смотки

**Fig. 1.** A500CNU class reinforcement manufactured in the Russian Federation with increased plasticity with a four-sided periodic profile in row-winding coils

Требования к повышенной и высокой категориям пластичности, впервые введенные в ГОСТ 34028-2016 [2], нашли свое применение в нормативных документах на строительство и проектирование в сейсмических районах. Так, согласно европейскому стандарту [6] и российскому [7], не допускается использовать в качестве рабочего арматурный прокат, имеющий полное относительное удлинение при максимальном напряжении ( $\delta_{\max}$ ) менее 2,5 % при 7 баллах, менее 5 % – при 8 баллах, менее 7 % – при 9 баллах, что нашло отражение в ГОСТ 34028-2016 [2] в требованиях к относительному удлинению  $\delta_{\max}$ , и отношение временного сопротивления к пределу текучести не менее 1,08 и не менее 1,15–1,35.

В целом, работу российских металлургов по ГОСТ 34028-2016 [2] можно охарактеризовать как положительную, а переход на данный стандарт считать состоявшимся. В настоящее время заводы-производители освоили основную номенклатуру, получили сертификаты соответствия в аккредитованных лабораториях.

Тем не менее можно найти дополнительные возможности для развития с учетом современных вызовов, например, рассмотреть возможность совместной дискретности классов прочности арматуры и сортамента, что взаимосвязано друг с другом.

Например, классы прочности листового, фасонного и широкополосного проката, где, в соответствии с [8], от класса прочности 235 МПа (С235) до 690 МПа (С690) насчитывается десять позиций. В то же время в [9] для арматуры класса А насчитывается всего шесть позиций от класса прочности 240 до 1000 МПа. Понятно, что одной из причин различной дискретности является то, что стальной прокат в напряженно-деформативном состоянии работает как отдельный материал, а арматурный прокат работает совместно с бетоном и взаимозависим с ним. Тем не менее сегодня есть потребность в повышении класса прочности арматуры в сегменте самого востребованного класса А500. Некоторые заводы-производители арматурного проката с целью увеличения расчетного сопротивления ( $R_s$ ) для класса А500 до  $R_s = 450$  МПа увеличивают требуемые значения физического предела текучести ( $\sigma_s$ ) на 15 МПа – до 515 МПа, формально оставаясь в классе А500 в соответствии с [9] и ГОСТ 34028-2016 [2].

Отметим еще одну тенденцию в металлургическом комплексе, которая влияет на арматурный прокат строительного назначения. В мире вообще и в РФ в частности за последние десятилетия происходит смещение от предприятий «полного цикла», включающих в себя переработку руды, создание сплавов, выплавку металла и прокатку на электрометаллургические предприятия, где исходным сырьем является лом. Электросталеплавильное производство, помимо известных преимуществ (возможность переработки вторичного сырья, уменьшение выбросов в атмосферу и сокращение углеродного следа), обладает таким преимуществом, как повышенное содержание легирующих элементов в сталях. Таким образом, если предприятию «полного цикла» для получения сталей строительного назначения необходимо производить дополнительное легирование, то в электрометаллургических предприятиях подобное легирование может обеспечиваться непосредственно из лома.

Это дает возможность электрометаллургическим предприятиям гарантированно получать класс прочности А550, достаточно легированный для обеспечения повышенной прочности сварных соединений и коррозионной стойкости. Это стало предпосылкой в проведении НИОКР по изучению свойств нового класса арматуры.

В процессе НИОКР определялись химический состав стали, выборочные геометрические характеристики сечений проката, механические свойства проката, свариваемость проката при отдельных способах сварки, испытания проката на изгиб на 180° и на изгиб с разгибом, стойкость проката к коррозионному растрескиванию.

Согласно принятым методикам и устоявшемуся опыту, образцы, подлежащие исследованию в сорimente 10, 16, 32 мм в количестве 18 плавок, были доставлены в Центр высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова и аккредитованный испытательный Центр коллективного пользования «Технологии и Материалы» НИУ БелГУ (г. Белгород).

#### Исследование химического состава

Исследования химического состава стали осуществлялись на эмиссионных спектрографах FOUNDRY-MASTER и СПАС. В соответствии с п. 5.4.1 ГОСТ 34028-2016 [2] химический состав стали в готовом прокате А500–А600 должен соответствовать приведенному в табл. 1.

Таблица 1  
Table 1

Химический состав арматурной стали 500–600 МПа  
The chemical composition of 500–600 MPa reinforcing steel

| Класс проката | Массовая доля элементов, %, не более |      |      |       |       |       |      |    |
|---------------|--------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|----|
|               | C                                    | Si   | Mn   | P     | S     | N     | Cu   | As |
| A500–A600     | 0,24                                 | 0,95 | 1,70 | 0,055 | 0,055 | 0,013 | 0,35 | –  |

Установленный химический состав стали проката по содержанию нормируемых элементов и углеродный эквивалент по плавкам представлены в табл. 2. Установлено соответствие содержания химических элементов в стали исследуемого проката требованиям ГОСТ 36028-2016 [2] для проката А500–А600.

Таблица 2  
Table 2

**Химический состав арматурной стали 550 МПа**  
**Chemical composition of 550 MPa reinforcing steel**

| Элемент  | Диапазон    |
|----------|-------------|
| Углерод  | 0,18–0,24   |
| Кремний  | 0,10–0,84   |
| Марганец | 0,42–1,30   |
| Фосфор   | 0,016–0,025 |
| Сера     | 0,011–0,023 |
| Азот     | 0,007–0,011 |
| Медь     | 0,18–0,27   |
| Молибден | 0,009–0,029 |
| Хром     | 0,10–0,20   |
| Никель   | 0,091–0,156 |
| Мышьяк   | 0,005–0,021 |
| Олово    | 0,008–0,019 |
| Свинец   | 0,001–0,019 |

Следует отметить наличие в химическом составе набора дополнительных элементов. Так, содержание серы и фосфора в указанном соотношении проявляется слабо и не приводит к заметному снижению механических свойств стали и свариваемости. Содержание никеля от 0,091 до 0,156 мас.% позволяет обеспечить в готовом металлопрокате высокие значения временного сопротивления, предела текучести и относительного удлинения при хорошей свариваемости, а также повысить коррозионную стойкость стали. Влияние данного элемента при его содержании менее 0,091 мас.% незначительно, при этом увеличение содержания никеля более 0,156 мас.% приведет к увеличению стоимости продукции. Наличие хрома положительно сказывается на прочности стали и расширяет возможности использования металлического лома при выплавке, что способствует снижению себестоимости. Содержание хрома от 0,100 до 0,200 мас.% обеспечивает высокую пластичность и свариваемость. А также содержание хрома в сталях способствует увеличению коррозионной стойкости. Наличие в составе стали 0,009–0,029 мас.% молибдена обеспечивает получение прочностных характеристик, однако превышение приведенных значений не сопровождается дальнейшим повышением качества арматурного проката, а лишь увеличивает расходы на легирование, что представляется нецелесообразным. При добавлении меди повышается прочность и значительно увеличивается стойкость стали к корро-

зии. Также стоит отметить ограничения по содержанию мышьяка, олова и свинца.

**Исследования геометрических характеристик и механических свойств**

Для исследования возможных отклонений параметров поперечного профиля были проведены выборочные измерения согласно п. 5.2 ГОСТ 34028-2016 [2] в части формы профиля 2ф, включая относительную площадь смятия поперечных ребер  $f_R$ , определяемую по п. А.5 ГОСТ 34028-2016 [2].

Опытный материал полностью соответствует требованиям ГОСТ 34028-2016 [2] в части формы профиля 2ф, однако стоит отметить, что полученные значения относительной площади смятия поперечных ребер  $f_R$  с учетом статистической обеспеченности 0,95 достигают значений не менее 0,075, что с учетом работ [10, 11] может стать фактором дополнительного исследования по снижению длины анкеровки арматуры в бетоне, длины нахлеста и ширины раскрытия трещин.

Для определения механических свойств исследуемые образцы были изготовлены из целых стержней исследуемого арматурного проката d10, d16 и d32. Образцы d10 и d16 изготавливались с необработанной поверхностью, образцы d32 изготавливались обточенными цилиндрической формы с сохранением на головках поверхности проката, с соблюдением требований к форме, размерам и обработке рабочей части образцов.

Механические свойства проката на изготовленных образцах от проката d10, d16 и d32 выполнялись в соответствии с ГОСТ 12004-81 [12] на универсальных испытательных машинах WEW-600D и РЭМ-600-А-1.4.

Результаты испытаний представлены в табл. 3 и 4 и полностью соответствуют новому классу А550.

**Свариваемость проката**

Испытаниям на свариваемость подвергают прокат минимального, среднего и максимального номинальных диаметров, прокат каждого номинального диаметра отбирают для испытаний от трех случайно выбранных плавков. В соответствии с п. 6.1.4.3 ГОСТ 34028-2016 [2] прокат класса А500С–А600С гарантируется как свариваемый с одновременным выполнением следующих требований:

- химическим составом стали по табл. 4 ГОСТ 34028-16 [2] (требование обеспечено в соответствии с п. 1. Исследование химического состава стали);
- значением углеродного эквивалента (Сэкв) в готовом прокате не более 0,52 % (требование обеспечено в соответствии с п. 1. «Исследование химического состава стали»;
- удовлетворительными результатами испытаний на растяжение в соответствии с требованиями Приложения Г ГОСТ 34028-2016 [2].

Таблица 3  
Table 3

Механические свойства арматурной стали 550 МПа  
Mechanical properties of 550 MPa reinforcing steel

| Плавка                     | Испытано образцов | d, мм | $\sigma_{0,05}$ , МПа | $\sigma_r(\sigma_{0,2})$ , МПа | $\sigma_b$ , МПа | $\delta_5$ , % | $\delta_p$ , % | $\delta_{max}$ , % | $\sigma_b/\sigma_r$ |
|----------------------------|-------------------|-------|-----------------------|--------------------------------|------------------|----------------|----------------|--------------------|---------------------|
| 215470                     | 10                | 10    | 540,1                 | 614,6                          | 703,3            | 21,4           | 7,3            | 7,7                | 1,15                |
| 216329                     | 10                | 10    | 551,7                 | 625,1                          | 712,1            | 19,4           | 6,3            | 6,7                | 1,14                |
| 216328                     | 10                | 10    | 520,3                 | 593,7                          | 677,4            | 21,2           | 5,0            | 5,4                | 1,14                |
| <b>X<sub>cp</sub> – kS</b> |                   |       | <b>492,1</b>          | <b>565,4</b>                   | <b>650,7</b>     | <b>17,1</b>    | <b>2,6</b>     | <b>3,0</b>         | <b>1,12</b>         |
| <b>C<sub>min</sub></b>     |                   |       | <b>468</b>            | <b>550</b>                     | <b>650</b>       | <b>13</b>      | <b>2</b>       | <b>2,5</b>         | <b>1,05</b>         |
| 215348                     | 10                | 16    | 514,2                 | 575,0                          | 675,5            | 19,2           | 8,8            | 9,1                | 1,17                |
| 215349                     | 10                | 16    | 512,5                 | 582,7                          | 687,2            | 18,8           | 7,6            | 7,9                | 1,18                |
| 215481                     | 10                | 16    | 516,9                 | 583,2                          | 683,7            | 22,0           | 9,4            | 9,7                | 1,18                |
| <b>X<sub>cp</sub> – kS</b> |                   |       | <b>494,1</b>          | <b>559,6</b>                   | <b>662,1</b>     | <b>16,5</b>    | <b>5,9</b>     | <b>6,3</b>         | <b>1,16</b>         |
| <b>C<sub>min</sub></b>     |                   |       | <b>468</b>            | <b>550</b>                     | <b>650</b>       | <b>13</b>      | <b>2</b>       | <b>2,5</b>         | <b>1,05</b>         |
| 217817                     | 10                | 32    | 478,9                 | 544,1                          | 677,9            | 19,0           | 8,7            | 9,0                | 1,25                |
| 217818                     | 10                | 32    | 482,9                 | 547,3                          | 669,8            | 18,8           | 8,5            | 9,2                | 1,25                |
| 217819                     | 10                | 32    | 501,9                 | 571,1                          | 695,9            | 18,8           | 8,5            | 9,1                | 1,25                |
| <b>X<sub>cp</sub> – kS</b> |                   |       | <b>460,0</b>          | <b>526,5</b>                   | <b>653,4</b>     | <b>17,1</b>    | <b>8,2</b>     | <b>8,8</b>         | <b>1,24</b>         |
| <b>C<sub>min</sub></b>     |                   |       | <b>468</b>            | <b>550</b>                     | <b>650</b>       | <b>13</b>      | <b>2</b>       | <b>2,5</b>         | <b>1,05</b>         |

Таблица 4  
Table 4

Механические свойства арматурной стали 550 МПа (обточенные образцы)  
Mechanical properties of 550 MPa reinforcing steel (ground samples)

| Плавка                     | Испытано образцов | d, мм | $\sigma_{0,05}$ , МПа | $\sigma_r(\sigma_{0,2})$ , МПа | $\sigma_b$ , МПа | $\delta_5$ , % | $\delta_p$ , % | $\delta_{max}$ , % | $\sigma_b/\sigma_r$ |
|----------------------------|-------------------|-------|-----------------------|--------------------------------|------------------|----------------|----------------|--------------------|---------------------|
| 217817                     | 6                 | 32    | 494,1                 | 583,4                          | 699,4            | 19,8           | 8,7            | 8,9                | 1,26                |
| 217818                     | 6                 | 32    | 500,3                 | 585,8                          | 699,7            | 18,8           | 8,5            | 9,2                | 1,24                |
| <b>X<sub>cp</sub> – kS</b> |                   |       | <b>473,3</b>          | <b>567,6</b>                   | <b>674,2</b>     | <b>16,9</b>    | <b>8,0</b>     | <b>8,4</b>         | <b>1,22</b>         |
| <b>C<sub>min</sub></b>     |                   |       | <b>468</b>            | <b>550</b>                     | <b>650</b>       | <b>13</b>      | <b>2</b>       | <b>2,5</b>         | <b>1,05</b>         |

Контроль свариваемости (пригодности к сварке) проката соответствующего номинального диаметра проводят путем испытания широко применяющихся в строительстве и в наибольшей степени влияющих на механические свойства сварных соединений. Были проведены испытания на соединения ванно-шовной сваркой на стальной скобе-накладке по типу С15-Рс, контактно-стыковой сваркой по типу С1-Ко, ручной дуговой сваркой протяженными швами внахлестку по типу С23-Рэ, ручной дуговой сваркой прихватками по типу КЗ-Рп, контактно-точечной сваркой по типу К1-Кт, тавровых соединений дуговой сваркой под флюсом по типу Т2-Рф.

Результаты испытаний показали значения, превышающие требования к новому классу А550, так:

- образцы ванно-шовной сварки на стальной скобе-накладке по типу С15-Рс в испытаниях на растяжение разрушались при временном сопротивлении соединения 657–702 МПа;

- образцы контактно-стыковой сварки по типу С1-Ко в испытаниях на растяжение разрушались вне места сварки или в области сварного соединения при

временном сопротивлении соединения 663–708 МПа;

- образцы соединений ручной дуговой сваркой протяженными швами внахлестку по типу С23-Рэ в испытаниях на растяжение разрушались по основному стержню в зоне термического влияния сварки при временном сопротивлении соединения 610–660 МПа;

- образцы крестообразных соединений ручной дуговой сваркой прихватками по типу КЗ-Рп (ГОСТ 14098-2014 [13]) в испытаниях на растяжение разрушались по основному стержню вне зоны термического влияния сварки при временном сопротивлении соединения 592–616 МПа;

- образцы соединений контактно-точечной сваркой по типу К1-Кт в испытаниях на растяжение разрушались по основному стержню вне зоны термического влияния сварки при временном сопротивлении соединения 592–630 МПа;

- образцы соединений контактно-точечной сваркой по типу К1-Кт в испытаниях на срез разрушились по металлу сварного шва при усилии среза 15,4–18,0 кН (d10), 37,0–41,0 кН (d16);

- образцы соединений контактно-точечной свар-

кой по типу К1-Кт в испытаниях на изгиб до угла 60° вокруг оправки диаметром 5dн–6dн (50, 100 и 200 мм) с поперечным стержнем меньшего диаметра, расположенным в зоне максимального изгибающего момента, сохранили целостность без видимых трещин;

– образцы крестообразных соединений ручной дуговой сваркой прихватками по типу КЗ-Рп (ГОСТ 14098-2014 [13]) в испытаниях на изгиб до угла 60° вокруг оправки диаметром 5dн–6dн (50, 100 и 200 мм) с поперечным стержнем меньшего диаметра, расположенным в зоне максимального изгибающего момента, сохранили целостность без видимых трещин;

– образцы тавровых соединений дуговой сваркой под флюсом (по типу Т2-Рф) в испытаниях на отрыв в навесном фиксирующем захвате и растяжении до разрушения с контролем приложенного усилия разрушались в зоне сплавления стержня с пластиной при временном сопротивлении соединения 563–624 МПа.

#### Испытания проката на изгиб и на изгиб с разгибом

В соответствии с п. 5.7.2 ГОСТ 34028-2016 [2] испытание на изгиб проката классов А500–А600 проводят в холодном состоянии поставки на угол 180° вокруг оправки диаметром 3dн (для проката до d16 включительно) и 6dн (для проката свыше d16). В соответствии с Приложением Б ГОСТ 34028-2016 [2] испытание на изгиб с разгибом проводят на образцах с необработанной поверхностью. Испытание на изгиб с последующим разгибом заключается в пластической деформации образца проката путем изгиба вокруг оправки максимального диаметра 5dн (для проката до d16 включительно), 8dн (для проката до d25) и 10dн (для проката свыше d25) до достижения угла 90°, следующем старении по режиму (нагрев испытуемого образца до температуры 90–110 °С, выдержка при данной температуре не менее 60 мин, охлаждение на спокойном воздухе при температуре 10–35 °С) и разгибе под действием силы в направлении, противоположном первоначальному, до угла 20°.

В соответствии с п. 5.7.4 ГОСТ 34028-2016 [2] после испытаний проката на изгиб или изгиб с разгибом на образцах не должно быть трещин и разрывов, видимых без применения увеличительных приборов. Результаты испытаний удовлетворительные, указанных признаков разрушения на поверхности образцов не установлено.

#### Стойкость проката к коррозионному растрескиванию

С целью определения стойкости проката против коррозионного растрескивания – способности арматурного проката не разрушаться в течение заданного времени при совместном воздействии изгибающих или растягивающих напряжений и агрессивных сред – были проведены испытания проката d10, d16 и d32 по методике Приложения Ж ГОСТ 34028-2016 [2].

В соответствии с п. 6.1.7 ГОСТ 34028-2016 [2] удовлетворительным результатом испытаний проката является обеспечение стойкости к коррозионному растрескиванию в течение 40 ч. Результаты испытаний проката стойкости к коррозионному растрескиванию представлены в табл. 5.

Таблица 5  
Table 5

#### Результаты испытаний на коррозионное растрескивание Corrosion cracking test results

| дн, мм | Плавка | Время растрескивания, ч |
|--------|--------|-------------------------|
| 10     | 216328 | > 40                    |
|        | 216329 |                         |
|        | 215470 |                         |
| 16     | 215349 |                         |
|        | 215481 |                         |
|        | 215348 |                         |
| 32     | 219817 |                         |
|        | 219818 |                         |
|        | 219819 |                         |

На основании проведенных исследований можно с уверенностью утверждать о получении на электрометаллургических предприятиях гарантированного класса прочности 550 МПа в арматурном прокате, который может найти эффективное применение при проектировании промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Разработан пакет нормативно-технической документации, а именно:

– ТУ 14-1-5710-2022 «Прокат термомеханически упрочненный свариваемый класса А550СК для армирования железобетонных конструкций стойкий к коррозионному растрескиванию»;

– СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ СОЮЗА ПРОЕКТИРОВЩИКОВ РОССИИ «Конструкции железобетонные. Применение арматуры класса А550СК в железобетонных конструкциях СТО СПР 2022»;

– Отчет по технико-экономическому обоснованию применения арматурного проката А550СК в ненапряженных железобетонных конструкциях;

– Сертификат соответствия в системе «Мосстройсертификации»;

– Техническое свидетельство о пригодности для применения в строительстве новой продукции и технологий, требования к которым не регламентированы нормативными документами полностью или частично и от которых зависит безопасность зданий и сооружений.

Сегодня внедрение любого нового материала сопровождается рядом определенных мероприятий, связанных с отраслевым взаимодействием между производителями и потребителями. В короткий пери-

од с 2022 года по настоящее время арматура А550СК уже применяется в проектах строительства гражданских зданий Москвы, Сочи, Самары, Ташкента, Еревана.

### Список литературы

1. Цыба О.О., Дьячков В.В., Саврасов И.П., Панченко А.И. О новом межгосударственном стандарте ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций» // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 3. С. 23–31.
2. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
3. СТО АСЧМ 7-93. Прокат арматурный периодического профиля. Технические условия. Москва: Ассоциация «Черметстандарт»; 2007.
4. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2006.
5. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2009.
6. EN 1998-1-1:1994. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance (Проектирование сейсмостойких конструкций).
7. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. Москва: Стандартинформ; 2018.
8. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. Москва: Стандартинформ; 2019.
9. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2018.
10. Трещиностойкость и деформативность растянутого железобетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматурой, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных ребер. Цыба О.О., автореферат диссертации к.т.н., науч.-исследовательский центр «Строительство», 2011 год.
11. Зикеев Л.Н., Цыба О.О. Трещиностойкость железобетонных растянутых элементов с учетом относительной площади смятия растянутой арматуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2009. № 10. С. 30–32.
12. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. Москва: Стандартинформ; 2009.
13. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. Москва: Стандартинформ; 2015.

### References

1. Tsyba O.O., Dyachkov V.V., Savrasov I.P., Panchenko A.I. About the new interstate standard GOST 34028-2016 "Steel for the reinforcement for concrete". *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2017, no 3, pp. 23–31. (In Russian).
2. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
3. STO ASCHM 7-93. Deformed reinforcing rolled products. Specifications. Moscow: Association of Enterprises and Organizations for standardization of Ferrous Metallurgy products – "Chermetstandart"; 2007. (In Russian).
4. State Standard R 52544-2006. Weldable deformed reinforcing rolled products of A500C and B500C classes for reinforcement of concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).
5. State Standard 10884-94. Thermomechanically hardened steel bars for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).
6. EN 1998-1-1:1994. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance.
7. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81\*. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
8. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81\*. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
9. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow; 2018. (In Russian).
10. Crack resistance and deformability of stretched reinforced concrete with non-stressed and tensioned rod reinforcement having a different relative area of crushing of transverse ribs. Tsyba O.O., abstract of the dissertation of the Cand. Sci. (Engineering), JSC RCC, 2011. (In Russian).
11. Zikeev L.N., Tsyba O.O. Crack resistance of reinforced concrete stretched elements, taking into account the relative area of crushing of stretched reinforcement. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2009, no. 10, pp. 30–32. (In Russian).
12. State Standard 12004-81. Reinforcing-bar steel. Tensile test methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).
13. State Standard 14098-2014. Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. Types, constructions and dimensions. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russian).

**Информация об авторах /  
Information about the authors**

**Олег Олегович Цыба** ✉, канд. техн. наук, начальник отдела новых продуктов Новосталь-М, руководитель ПК4 «Арматурный прокат для железобетонных конструкций» при ТК 375 «Металлопродукция из черных металлов и сплавов», Москва  
e-mail: cyba.o.o@novostal-m.ru

**Oleg O. Tsyba** ✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department of New Products of Novostal-M, Head of SC4 "Reinforcing bars for reinforced concrete structures" at TC 375 "Metal products from ferrous metals and alloys", Moscow  
e-mail: cyba.o.o@novostal-m.ru

**Николай Николаевич Трекин**, д-р техн. наук, профессор НИУ МГСУ; заместитель директора, научный руководитель АО «ЦНИИПромзданий», Москва  
e-mail: nik-trekin@yandex.ru

**Nikolay N. Trekin**, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Moscow State University of Civil Engineering; Deputy Director, Scientific Director of JSC "Tsniipromzdaniy", Moscow  
e-mail: nik-trekin@yandex.ru

**Эмиль Наумович Кодыш**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник АО «ЦНИИПромзданий», Москва  
e-mail: otk@yandex.ru

**Emil N. Kodysh**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher of JSC "Tsniipromzdaniy", Moscow  
e-mail: otk@yandex.ru

**Николай Николаевич Баглаев**, генеральный директор КТБ Железобетон, Москва  
e-mail: n.baglaev@ktbbeton.com

**Nikolay N. Baglaev**, General Director of KTB Beton Group, Moscow  
e-mail: n.baglaev@ktbbeton.com

**Андрей Викторович Шевченко**, канд. техн. наук, главный инженер КТБ Железобетон, Москва  
e-mail: a.shevchenko@ktbbeton.com

**Andrey V. Shevchenko**, Cand. Sci. (Engineering), Chief Engineer of KTB Beton Group, Moscow  
e-mail: a.shevchenko@ktbbeton.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author