

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ АРМАТУРНОГО ПРОКАТА. ОЦЕНКА ТРЕБОВАНИЙ МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ И РОССИЙСКИХ СТАНДАРТОВ

ENSURING THE WELDABILITY OF REBAR. ASSESSMENT OF REQUIREMENTS OF INTERSTATE AND RUSSIAN STANDARDS

Д. Е. КЛИМОВ
Д. В. ГРОМОВА

Проведен анализ требований различных ГОСТов, обеспечивающих свариваемость арматурного проката. Отмечены факторы, обеспечивающие свариваемость арматуры и прочность сварных стыковых соединений. Рассмотрено влияние технологии производства и химического состава на свариваемость арматуры. Рассмотрены требования нового ГОСТ 34028-2016, обеспечивающие свариваемость арматурного проката, заменяющего все прочие стандарты на горячекатаную и термомеханически упрочненную арматуру. Показаны основные изменения в подходах к обеспечению и оценке свариваемости арматуры и прочности сварных соединений в современных стандартах и стандартах прошлых десятилетий. Даны практическое обоснование и оценка требований ГОСТ 34028 к обеспечению свариваемости. Приведены экспериментальные данные, иллюстрирующие влияние химического состава и исходной прочности арматуры на прочность сварных соединений

The analysis of requirements of various state Standards providing weldability of reinforcing steel is carried out. The factors that ensure the weldability of the reinforcement and the strength of welded butt joints are noted. The influence of production technology and chemical composition on the weldability of reinforcement is considered. The requirements of the new GOST 34028-2016, providing weldability of rebar, replacing all other standards for hot-rolled and thermomechanical hardened reinforcement, are considered. The main changes in approaches to providing and assessing the weldability of reinforcement and strength of welded joints in modern standards and standards of the past decades are shown. The practical justification and evaluation of the requirements of GOST 34028 to ensure weldability are given. Experimental data illustrating the influence of the chemical composition and the initial strength of the reinforcement on the strength of welded joints of the reinforcement are presented. The presence of contradictions

арматуры. Отмечено наличие противоречий в различных пунктах требований ГОСТ 34028 к прочности сварного соединения, а также инновационность ряда требований этого ГОСТа к химическому составу.

in various points of the requirements of GOST 34028 to the strength of the welded joint, as well as the innovativeness of some requirements of this GOST to the chemical composition, are marked.

Ключевые слова:

Микролегирование арматуры, свариваемая арматура свариваемость, , требования ГОСТ 34028, углеродный эквивалент, химический состав арматуры

Key words:

Carbon equivalent, chemical composition of reinforcement, micro-alloying of reinforcement, requirements of GOST 34028, weldability, welded reinforcement

При существующем многообразии способов соединения арматуры, в том числе и активно развивающихся технологий стыковки с применением муфт, сварка всё еще остается достаточно востребованной. Она активно применяется при изготовлении сеток и каркасов на заводах ЖБИ и стыковки немеры, хотя на строительной площадке сварка постепенно уступает свое место механическим соединениям. Сварка – это все-таки процесс с большими тепловложениями, а значит, и со всеми вытекающими из этого последствиями формирования структуры металла в зоне сварки и в зоне ее термического влияния.

Оценка качества сварных соединений арматуры в РФ, помимо конструктивных требований и характера разрушения, определяется уровнем прочности соединения, т. е. его временным сопротивлением, которое обусловлено требованиями к классу исходного проката. Если рассматривать требования нового ГОСТ 34028, который с 1 января 2019 г. заменяет все прочие ГОСТы на горячекатаную и термомеханически упрочненную (ТМУ) арматуру, то, несмотря на явные противоречия в различных пунктах в требованиях к прочности сварного соединения, самое жесткое требование по прочности для сварного стыкового соединения соответствует нормативному временному сопротивлению исходной арматуры. Например, для ТМУ арматуры класса А500С – 600 Н/мм².

Как показывает практика, такое требование вполне разумно, хоть и может показаться не совсем логичным, так как в процессе сварки под воздействием высоких температур происходит изменение структуры металла как зоны сплавления, так и зоны термического влияния, что приводит к локальному снижению прочностных свойств ТМУ проката. При этом не во всех случаях есть возможность компенсации этого явления количеством наплавляемого металла шва, например, при контактно-стыковой сварке. Так, ГОСТ Р 57997, нормируя требуемую прочность сварного соединения из арматуры класса А500С, позволяет не браковать сварные соединения вплоть до 550 Н/мм². Почему? Ответ достаточно банален – определенная необходимая перестраховка, обусловленная целым рядом факторов. Но давайте разберемся, от чего же все-таки зависит прочность сварного соединения. И здесь мы снова обратимся к положениям нового ГОСТ 34028 и рассмотрим требования к арматурному прокату, обеспечивающие гарантию свариваемости и прочности сварных соединений.

Но сначала немного истории. Если анализировать ГОСТы на арматуру прошлых лет, то можно проследить простую закономерность гарантии свариваемости арматурного проката. Под свариваемостью в данной статье мы будем подразумевать не только возможность

соединить при помощи сварки два элемента без образования всевозможных негативных явлений, но и обеспечить надлежащую прочность сварного соединения. Без обеспечения требуемой прочности для стыковых сварных соединений арматуры просто технологическая свариваемость стали не имеет смысла. Итак, в соответствии с ГОСТ 5781, ГОСТ Р 52544 и др. свариваемость арматурного проката обеспечивается химическим составом и технологией изготовления.

Если рассматривать технологию, то, исключая различные нюансы, вся суть сводится к следующему: если арматура горячекатаная, то без специального добавления элементов, сдерживающих рост зерна, что, в принципе, уже относится к химическому составу, получаем структуру с достаточно крупным зерном, образующуюся при низких скоростях охлаждения. Такая массовая арматура имеет невысокие показатели текучести и прочности, которые в СССР достигались за счет высокого содержания углерода со всеми вытекающими негативными последствиями. Примером такой арматуры служит класс А400 (А-III) из сталей марки 25Г2С и 35ГС. Испортить структуру подобного проката при сварке в целом почти невозможно, что гарантирует прочность сварного соединения на уровне исходного арматурного проката. При этом допуск на снижение прочности сварного соединения в ГОСТ Р 57997 обусловлен не качеством металла, а результатом возможного некачественного исполнения сварки.

Альтернативная массовая технология – это производство термомеханически упрочненной арматуры в потоке проката (ТМУ). Здесь высокие прочностные свойства легко достигаются закалкой поверхностных слоев с обеспечением мелкозернистой структуры за счет ускоренного охлаждения. При сварке арматуры внахлестку, с накладками и даже на ванно-шовной скобе-накладке с обязательными фланговыми швами (соединения типа С23, С21, С15 по ГОСТ 14098-2014), где исходная структура арматуры в зоне фланговых швов сварного соединения частично сохраняется, вполне возможно получить достаточно высокие значения прочности сварного соединения, в том числе и за счет высокого упрочнения исходного проката. Но возможно это только при грамотном проведении сварочных работ сварщиком, понимающим различия в технологии сварки арматуры различных классов и способов производства. Однако в таких типах сварных соединений, как тавровое или стыковое, выполненное контактно-стыковой сваркой, высокая степень упрочнения исходного арматурного проката нам практически ничем не поможет. В данном случае всё напрямую зависит от химического состава.

Химический состав арматуры по ГОСТ 5781 и ГОСТ 10884 обеспечивал прочность как исходного проката, так и сварного соединения, в основном, за счет углерода с легированием кремнием и марганцем. В рядовых сталях для ненапряженного железобетона всё остальное легирование если и было, то только в качестве примесей. Содержание этих основных элементов прежде всего ограничивалось вилкой максимального и минимального их содержания в стали. При этом снижение содержания каких-либо химических элементов в стали по экономическим соображениям производилось за счет всего, кроме углерода.

При гармонизации отечественных норм с европейскими химический состав свариваемого арматурного проката получил ограничения по содержанию углерода, значительно снизившие его допускаемую величину, а также изменилось ограничение по углеродному эквиваленту с изменением формулы его вычисления. Снижение содержания углерода как

одного из основных элементов, обеспечивающих прочность сварного соединения, потребовало необходимого уровня легирования стали для термомеханически упрочненного проката независимо от степени его упрочнения. Это обеспечение было выражено косвенным способом через нижнюю границу углеродного эквивалента, что отражалось в ГОСТ Р 52544. Отсутствие указанного ограничения в свое время породило проблемы, изложенные в статье [7].

А теперь вернемся к требованиям ГОСТ 34028 по химическому составу, так как непосредственно сама по себе технология производства арматурного проката не оказывает столь существенное влияние на прочность сварных стыковых соединений определенного типа. Отличительной особенностью данного стандарта является комплексная оценка влияния различных элементов химического состава стали на свариваемость и обеспечение прочности сварных соединений.

Первым требованием стандарта является ограничение по верхнему пределу основных химических элементов, таких как углерод, марганец, кремний, сера, фосфор, азот и медь, а также значения углеродного эквивалента, рассчитываемого по формуле

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{V} + \text{Mo})/5 + (\text{Cu} + \text{Ni})/15.$$

Ограничение углерода и углеродного эквивалента преследует цель защиты от охрупчивания и возможности образования холодных трещин при сварке, что можно наблюдать на крестообразных соединениях прихватками арматуры из стали марки 35ГС, запрещенных к применению. Такие элементы как сера, фосфор и азот ограничиваются как вредные примеси. Однако азот, если в стали присутствуют элементы, связывающие его, образующие нитриды или карбонитриды и повышающие прочностные свойства стали, может оказывать положительное влияние, что в данном стандарте учтено наличием формулы азотного эквивалента с возможностью оценки его не только как вредной примеси.

Различные максимально допустимые значения углеродного эквивалента для классов А400 и А500 в данном стандарте, скорее всего, не носят характера достижения высоких знаний в науке и технике, а копируют требования ГОСТ 5781 к арматуре класса А400 и ГОСТ Р 52544 для арматуры класса А500 без учета того, что эти различные значения вычисляются по различным формулам. При этом не учитывается, что для достижения меньших показателей механических свойств по прочности и текучести требуется и меньшее количество легирующих добавок, а вероятность образования трещин при сварке не особо зависит от класса арматурного проката.

Следующим требованием стандарта по химическому составу является наличие микролегирующих добавок в виде таких элементов как ванадий, ниобий и молибден и является обязательным. Это требование дано в качестве вилки граничных значений, а именно, максимально допустимого содержания элементов, при котором подобное микролегирование эффективно и гарантированно не оказывает снижения некоторых эксплуатационных характеристик, и минимального суммарного значения этих элементов, при котором будет заметно их влияние на свойства арматурного проката, в том числе и сварных соединений, особенно на арматуре больших диаметров.

В качестве альтернативы ГОСТ 34028 допускает обеспечивать прочность сварных сое-

динений нижним значением углеродного эквивалента с градацией по диаметрам арматуры вместо обязательного микролегирования. Значения нижнего предела углеродного эквивалента приведены в таблице.

Таблица

Требования ГОСТ 34028 по значению углеродного эквивалента

Номинальный диаметр проката, мм	до 12 вкл.	14 - 18	20 - 28	32 - 40
Значение углеродного эквивалента, $C_{\text{экв}}, \%$	0,26 - 0,50	0,30 - 0,50	0,35 - 0,50	0,40 - 0,50

Рассмотрим практическое обоснование этих требований. Нижнее значение углеродного эквивалента в указанном здесь виде изначально было введено в ГОСТ Р 52544. Приведенные значения получены опытным путем и, несмотря на косвенность оценки через эту величину необходимого легирования стали, обеспечивают прочность сварных соединений при сварке с большими тепловложениями до уровня 620 – 650 Н/мм². На рис. 1-3 представлены результаты испытаний на прочность сварных соединений, полученных при контактно-стыковой сварке, связанными со значением углеродного эквивалента и градацией по диаметрам трех различных заводов РФ, условно пронумерованных от 1 до 3. На рис. 1 четко видно, что при сниженном значении углеродного эквивалента на арматуре средних и больших диаметров не обеспечивается требуемая прочность сварных соединений, несмотря на высокий уровень упрочнения исходного металла. На приведенных диаграммах заводов 2 и 3 при обеспечении необходимого легирования, оцененного через нижнее значение углеродного эквивалента, обеспечивается гарантированный уровень прочности сварных соединений в 620-650 Н/мм², который также, по существу, не зависит от прочности исходного арматурного проката. Приведенные данные показывают, что обеспечение нижней границы углеродного эквивалента, представленной как в ГОСТ Р 52554, так и в ГОСТ 34028, гарантированно обеспечивает прочность сварных соединений для арматуры классов А400 и А500, произведенных по технологии ТМУ без какого-либо микролегирования.

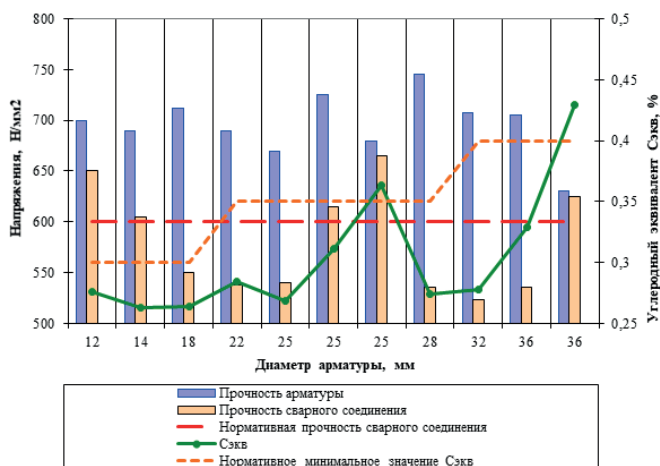


Рис.1. Арматурный прокат производства завода 1

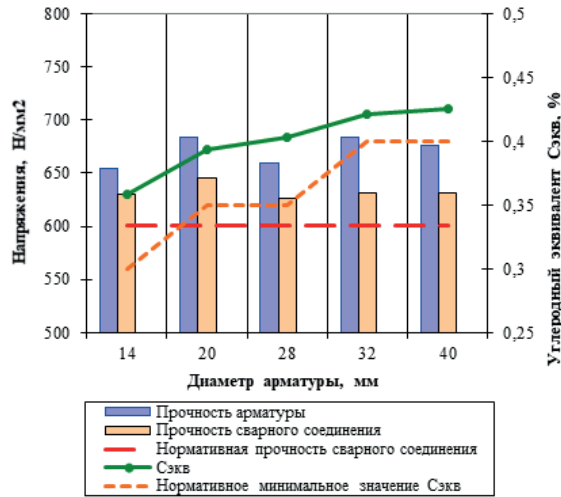


Рис.2. Арматурный прокат производства завода 2

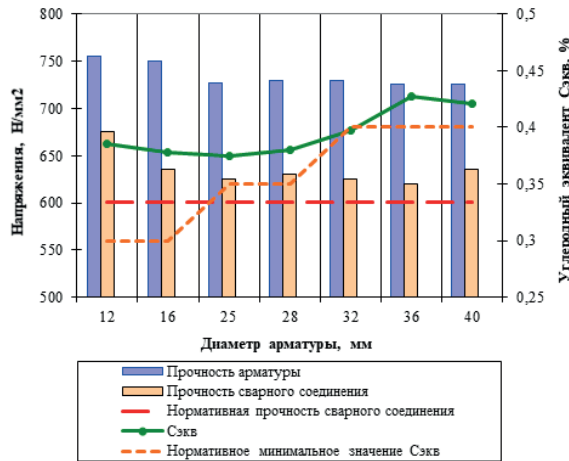


Рис.3. Арматурный прокат производства завода 3

Для получения большей прочности сварного стыкового соединения, например, 700Н/мм^2 , что требуется уже для арматуры класса А600, по имеющимся опытным данным и при требуемом содержании углерода в количестве не более $0,22\%$, легирования марганцем с примесями хрома, никеля и меди недостаточно. Для ТМУ арматуры класса А600 требуется введение микролегирования, количество которого укладывается в границы, приведенные в ГОСТ 34028. На рис. 4 представлены результаты сравнительных испытаний сварных соединений арматуры высокой прочности без микролегирования и арматуры меньшей прочности с микролегированием и углеродным эквивалентом в количестве $0,37$ и $0,39$ соответственно. Представленная диаграмма показывает, что прочность сварного соединения, выполненного контактной стыковой сваркой, при прочих условиях по химическому составу, требуемых ГОСТом, без микролегирования недостижима.

Изложенное показывает, что логичнее было бы гарантировать свариваемость арматуры

классов А400 и А500, произведенной по технологии ТМУ, нижней границей содержания углеродного эквивалента с градацией по диаметрам, гарантированно обеспечивая прочность сварных стыков на уровне нормативной прочности исходного проката. Применение микролегирования в этом случае, даже ради снижения марганца, с учетом нынешних цен получается экономически невыгодным, за исключением тех случаев, когда мы стремимся добиться, помимо обеспечения свариваемости, ряда других эксплуатационных характеристик арматурного проката. Требование по введению микролегирующих добавок разумно сделать обязательным только для классов, где требуется большая прочность сварных соединений (А600, А800), учитывая, что обеспечить прочность сварных соединений в 700 Н/мм^2 при той же контактной стыковой сварке, представленным в ГОСТ 34028 минимальным значением Сэкв невозможно. Для классов А400 и А500 микролегирование следует сделать не обязательным, а альтернативным. Это обеспечит возможность производства новой горячекатаной арматуры класса А400 с низким содержанием углерода и микролегированием, которая на данный момент промышленностью массово еще не производится, но по своим эксплуатационным характеристикам значительно превосходит устаревшую арматуру из стали марки 25Г2С.

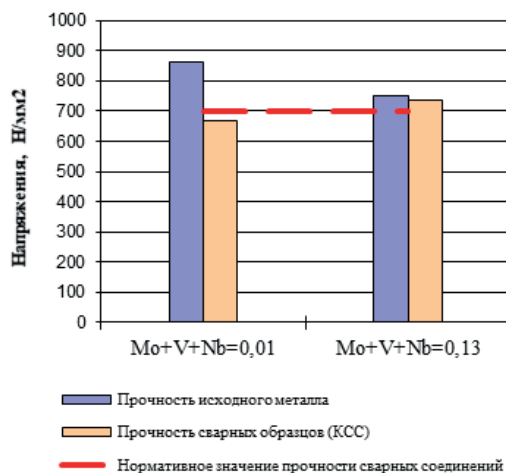


Рис.4. Результаты сравнительных испытаний сварных соединений арматуры высокой прочности без микролегирования и арматуры меньшей прочности с микролегированием

Одной из проблем, обеспечивающей описываемые выше нестыковки и разногласия с реальным состоянием вопроса, является отсутствие адекватного механизма разработки, оценки, проверки и апробации, с последующей корректировкой таких серьезных документов как государственные и межгосударственные стандарты. Это порождает выпуск достаточно сырых в проработке стандартов, того же ГОСТ 34028, без адекватного механизма устранения недочетов и ошибок, наличие которых было отмечено выше. Все это, естественно, создает целый ряд проблем при применении указанного стандарта, решение которых возможно лишь его доработкой. При этом доработка должна базироваться на реальных закономерностях и достижениях науки и промышленности, реальных потребностях строительной отрасли, а также с обязательной идеологической концепцией дальнейшего развития арматурного проката в нашей стране.

При этом, конечно, нельзя не отметить инновационность ряда требований ГОСТ 34028 к химическому составу арматурного проката для обеспечения свариваемости, которые в предыдущих отечественных стандартах либо отсутствовали в принципе, либо в представленном объеме. Это и учет возможности образования нитридов и карбонитридов ванадия, титана и других элементов, и отказ от высокого углерода, и введение микролегирующих добавок, улучшающих качественные характеристики стали.

В эпоху бурного развития альтернативных сварке технологий соединения арматуры может возникнуть вполне резонный вопрос: зачем нам такие сложности? Ведь всё можно сделать дешевле. Однако столь пристальное внимание к требованиям по химическому составу арматуры совсем не случайно. Химический состав стали, требуемый для получения необходимой прочности сварных соединений арматурного проката, способен при грамотном подходе к технологии производства также обеспечить и ряд других качественных показателей различных эксплуатационных характеристик. Но это уже другая история.

Библиографический список

1. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
2. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия.
3. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
4. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия.
5. ГОСТ Р 57997-2017. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия.
6. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции, размеры.
7. *Климов Д.Е.* О качестве арматурного проката. Разнообразии арматуры по СТО АСЧМ 7-93. // *Стройметалл.* 2013. №1 (32). С. 6-8.

Авторы:

Дмитрий Евгеньевич КЛИМОВ, инженер, НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ Строительство», Москва

Dmitriy KLIMOV, Engineer of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: dimochka_k@mail.ru

Дарья Владиславовна ГРОМОВА, студент НИУ МГСУ, Москва

Darya GROMOVA, student, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: igromova81@gmail.com