

А. В. Ивченко /к. т. н./, Ю. П. Гуль /к. т. н./

Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: ivchenkoaleksv@gmail.com

А. С. Якушев, В. Ф. Коваленко

ПАО «Днепрометиз», г. Днепро, Украина

И. П. Саврасов /к. т. н./, М. С. Востров

ОАО «НИЦ «Строительство», г. Москва, РФ

Огнестойкость холоднодеформированного арматурного проката класса В500С

A. V. Ivchenko /Cand. Sci. (Tech.)/,
Yu. P. Gul' /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine

e-mail: ivchenkoaleksv@gmail.com

A. S. Yakushev, V. F. Kovalenko

PC «Dneprometiz», Dnipro, Ukraine

I. P. Savrasov /Cand. Sci. (Tech.)/, M. S. Vostrov

Research center of construction Joint Stock
Company, Moscow, RF

Fire-resistance cold-rolled reinforcing bar B500C class

Цель. Получение экспериментальных данных по огнестойкости холоднодеформированного арматурного проката класса прочности 500 МПа, что имеет принципиальное значение для назначения областей использования данной продукции.

Методика. Оценку огнестойкости арматурного проката осуществляли путем сравнительных испытаний на растяжение образцов при комнатной температуре и в нагретом состоянии до температур 100–800 °С. Для нагрева использовали трубчатую муфельную печь PRC 20×200/100, размещенную между захватами испытательной машины INSTRON 5984. Нагрев до заданной температуры вели со скоростью подъема температуры 30 °С в минуту, а после выдержки при заданной температуре в течение 30 минут, производили испытание.

Результаты. Установлен характер изменения прочностных свойств арматурного проката класса В500С из стали марок СтЗпс и 20Г2 в зависимости от температуры испытания. Показано, что значения прочностных свойств образцов практически остаются на одном уровне до температуры 500 °С. В интервале температур нагрева 500–600 °С наступает постепенное снижение, а при более высоких температурах происходит резкое падение прочностных свойств. На основании этих результатов можно предположить, что в случае пожара нагрев стержней холоднодеформированного арматурного проката класса прочности 500 МПа до температуры 500 °С не приведет к снижению прочностных свойств ниже нормируемого уровня, тем самым сохранится несущая способность железобетонных конструкций.

Научная новизна. Впервые в отечественной практике проведены исследования огнестойкости холоднодеформированного арматурного проката класса прочности В500С путем испытания образцов, нагретых до температуры 100–800 °С.

Практическая значимость. Увеличение объемов использования в строительстве холоднодеформированного арматурного проката класса прочности В500С. (Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.)

Ключевые слова: арматурный прокат, пожар, температура, нагрев, огнестойкость, прочность.

Постановка проблемы. Повышенное внимание к таким свойствам несущих железобетонных и металлических конструкций, как их огнестойкость и огнесохранность обусловлено тревожной статистикой ежегодного возрастания числа пожаров в самых различных сооружениях и зданиях. Можно обоснованно связывать указанную тенденцию с ростом энергонасыщения соответствующих объектов, числа природных катаклизмов и террористических актов, а увеличение катастрофичности последствий пожаров – с увеличением самих объектов, нагрузок на несущие

конструкции и числа людей в этих объектах. Поэтому в настоящее время так актуально определение характеристик огнестойкости для арматурного проката (АП), который широко применяется при сооружении железобетонных объектов.

В настоящее время при изготовлении железобетонных конструкций и сооружений важным условием является применение АП с расширенным набором эксплуатационных характеристик (потребительских свойств). Мировой опыт применения в строительстве металлопродукции с

высокими прочностными характеристиками (класса прочности 500...600 МПа) направлен на использование стального проката с улучшенными показателями эксплуатационной надежности, включая высокую пластичность, выносливость при переменных цикловых нагрузках, свариваемости, а также огнестойкости [1; 2]. Под огнестойкостью принято понимать сохранение конструкцией несущей способности в условиях нагрева ее элементов при пожаре. Считается, что стали, способные сохранять в условиях кратковременного нагрева при пожаре в интервале температур 500–700 °С нормированные прочностные характеристики, обладают огнестойкостью [3].

В процессе проектирования железобетонных конструкций с применением АП различных классов прочности ведется их расчет на огнестойкость согласно нормативным документам (НД), в которых для АП в зависимости от способов производства (горячая деформация или холодная деформация) используются различные коэффициенты [4–6]. Предлагаемые коэффициенты в этих НД для АП произведенного по различным технологиям существенно различаются между собой, и они для АП металлургического производства (горячая деформация) существенно более высокие. Это, с одной стороны, сужает область использования в строительстве таких по ряду показателей инновационных изделий, как арматура, упрочненная холодной деформацией, а с другой – не имеет под собой металлофизического обоснования. Последнее тем более справедливо потому, что современные технологии производства холоднодеформированного АП включают использование после активной холодной деформации циклической деформации. В итоге достигается существенная «температурная» стабилизация холоднодеформированного структурного состояния, экспериментально подтвержденная еще в начале 90-х годов прошлого столетия [7]. Обращает на себя внимание также то обстоятельство, что в области огнестойкости несущих элементов стальных конструкций до сих пор используется трактовка природы влияния температуры на механические свойства на уровне 40-х годов ХХ в. [8]. Нами же показано, что огнесохранность (сохранение основного комплекса механических свойств после нагрева и последующего охлаж-

дения до обычных температур) упрочненного холодной деформацией АП находится на уровне нагрева до 500 °С [9]. Таким образом, есть основания полагать, что и фактическая огнестойкость получаемого по современной технологии холоднодеформированного АП заметно выше указанного в НД [6] предела в 300 °С.

Цель. Целью настоящего исследования является получение экспериментальных данных по огнестойкости холоднодеформированного арматурного проката класса В500С, поскольку по доступной информации такие данные отсутствуют.

Получение экспериментальных данных по огнестойкости АП прочности 500 МПа имеет принципиально значение для назначения областей использования данной продукции.

Методика исследования. Для изучения огнестойкости использовали натурные образцы холоднодеформированного АП класса В500С диаметром 5,5 и 9,0 мм, изготовленного из катанки диаметром 6,5 и 10,0 мм стали марок СтЗпс и 20Г2 соответственно. Химический состав и исходные механические свойства приведен в табл. 1. Данный подбор материала исследований позволил провести оценку огнестойкости в зависимости от состава рядовой стали. Выбор сортамента не преследовал оценки влияния типоразмеров, так как в отличие от АП металлургического производства (горячекатаный или термически упрочненный АП) здесь исключается влияние закаливаемости и прокаливаемости стали на уровень механических свойств для стержней различных диаметров. Для холоднодеформированного АП уровень механических свойств обуславливается (при одинаковом исходном перед холодной деформацией структурном состоянии) только составом стали и степенью деформации. В данном случае степень холодной деформации изменялась в пределах от 19 % (АП \varnothing 9,0 мм) до 30 % (АП \varnothing 5,5 мм) с последующей циклической деформацией изгибом.

Оценку огнестойкости АП осуществляли путем сравнительных испытаний на растяжение образцов в исходном состоянии при комнатной температуре, условно принимая ее нагрев до температуры 20 °С и в нагретом состоянии до температур 100–800 °С (все испытания проведены в ОАО «НИЦ «Строительство»). Нагрев образцов осуществляли в трубчатой муфельной

Таблица 1

Химический состав и механические свойства АП класса В500С

Диаметр АП, марка стали	Содержание массовых долей, %					Механические свойства		
	С	Mn	Si	S	P	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_b , Н/мм ²	δ_p , %
5,5; СтЗпс	0,19	0,54	0,05	0,031	0,016	648	683	2,8
9,0; 20Г2	0,20	1,43	0,22	0,023	0,019	535	626	4,0

печи PRC 20×200/100, размещенной на штативе между захватами испытательной машины. Данная печь позволяет проводить испытания в лабораторных условиях при температурах до 1000 °С. Зона нагрева образца в печи составляла 200 мм. Образцы нагревались до заданной температуры со скоростью подъема температуры 30 °С в минуту. После выдержки при заданной температуре в течение 30 минут производилось растяжение образца до максимальной нагрузки. После начала образования шейки печь снималась, и образец доводился до разрыва. Испытание образцов длиной 800 мм на растяжение проводили согласно ГОСТ 12004-81 на испытательной машине INSTRON 5984: шкала 40 кН, скорость нагружения – 5 мм/мин. Запись диаграмм растяжения осуществляли при помощи персонального компьютера по специальной программе. Характер изменения прочностных свойств АП ($\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, σ_b – временное сопротивление разрыву) от воздействия нагрева до различных температур оценивали по параметру отношения значения каждой характеристики в нагретом до конкретной температуры к значению той же характеристи-

ки при комнатной температуре ($\sigma_{0,2}^t / \sigma_{0,2}^{20}$, $\sigma_b^t / \sigma_b^{20}$, эти соотношения в НД [6] обозначены как коэффициенты γ_{st} и β_s соответственно).

Результаты и их обсуждение (Фактический материал). Результаты испытания (средние значения по трем образцам) АП класса В500С при комнатной температуре и в нагретом состоянии до различных температур приведены в табл. 2. На рис. 1 и 2 представлен характер изменения значений прочностных свойств образцов АП класса В500С из стали марок СтЗпс и 20Г2 в зависимости от температуры испытания.

Анализ полученных данных показывает, что значения прочностных свойств образцов АП в нагретом состоянии (рис. 1) практически остаются на одном уровне до температуры испытания, равной 500 °С. В интервале температур нагрева 500–600 °С наступает постепенное снижение этих характеристик, а при более высоких температурах нагрева происходит резкое падение прочностных свойств. Однако следует заметить, что даже при температуре нагрева 550 °С образцы АП В500С имеют предел текучести выше нормируемого уровня для данного класса прочности.

Таблица 2

Прочностные свойства АП класса В500С при различных температурах нагрева

Температура образца при растяжении, °С	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	$\sigma_{0,2}^t / \sigma_{0,2}^{20}$	Нормированный коэффициент γ_{st} в нагретом состоянии [6]	Временное сопротивление разрыву σ_b , Н/мм ²	$\sigma_b^t / \sigma_b^{20}$
АП диаметром 5,5 мм, СтЗпс					
20	648	–	1,0	683	–
100	667	1,03	1,0	689	1,01
200	633	0,98	1,0	651	0,95
300	621	0,96	0,90	643	0,94
400	629	0,97	0,65	651	0,95
450	611	0,94	–	640	0,94
500	568	0,88	0,35	616	0,90
550	503	0,78	–	509	0,74
600	354	0,55	0,15	376	0,55
700	180	0,28	0,05	284	0,41
800	99,0	0,15	0,02	159	0,23
АП диаметром 9,0 мм, сталь 20Г2					
20	535	–	1,0	626	–
100	546	1,02	1,0	607	0,97
200	531	0,99	1,0	587	0,94
300	529	0,99	0,90	577	0,92
400	531	0,99	0,65	565	0,90
450	521	0,97	–	562	0,90
500	527	0,99	0,35	576	0,92
550	504	0,94	–	540	0,86
600	444	0,83	0,15	468	0,74
700	201	0,38	0,05	214	0,34
800	98	0,18	0,02	120	0,19

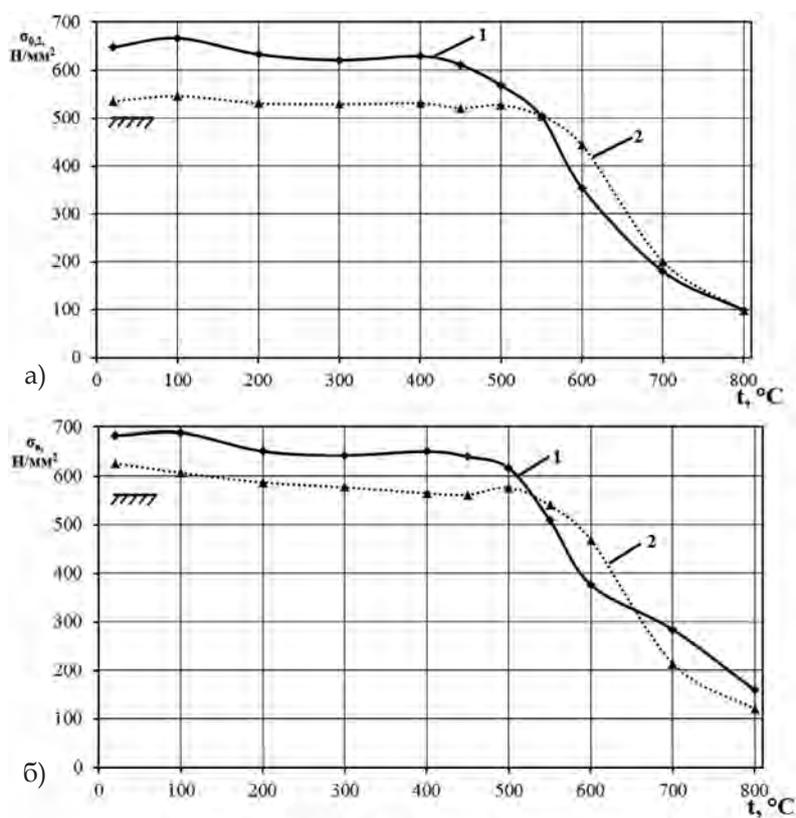


Рис. 1. Изменение предела текучести (а) и предела прочности (б) арматуры класса В500С диаметром 5,5 (1) и 9,0 мм (2) в зависимости от температуры испытания (////// - нормируемый минимальный уровень свойств)

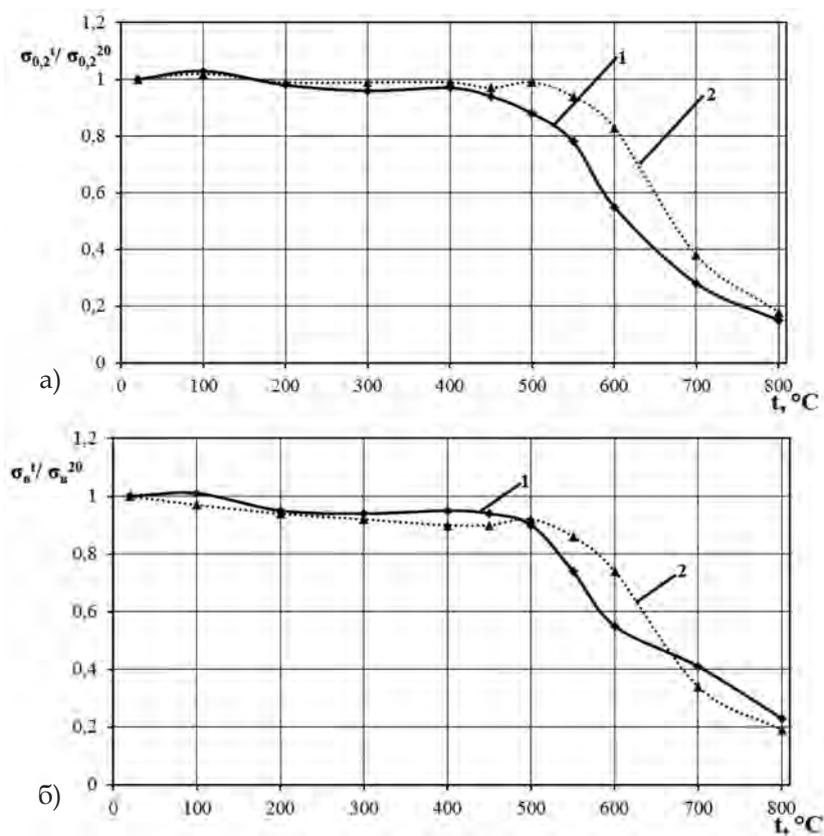


Рис. 2. Изменение соотношений $\sigma_{0.2}^t / \sigma_{0.2}^{20}$ (а) и $\sigma_b^t / \sigma_b^{20}$ (б) арматуры класса В500С диаметром 5,5 (1) и 9,0 мм (2) в зависимости от температуры испытания

Оценка характера изменения соотношений $\sigma_{0,2}^t / \sigma_{0,2}^{20}$ и $\sigma_b^t / \sigma_b^{20}$ (рис. 2) позволяет оценить влияние химического состава стали на огнестойкость холоднодеформированного АП. Так, увеличение содержания углерода и марганца в стали (для 20Г2) смещает в область более высоких температур начало резкого снижения прочностных характеристик нагретых образцов. Здесь также следует отметить, что значения этих соотношений остаются во всем исследованном интервале температур выше, обозначенных в НД [6] для данного вида АП.

Выводы¹

1. Впервые в отечественной практике проведены исследования огнестойкости холоднодеформированного арматурного проката класса прочности В500С путем испытания образцов, нагретых до температур 100–800 °С.

2. Показано, что в условиях пожара нагрев арматурных стержней до температуры 500 °С не приведет к потери прочностных свойств ниже нормируемого уровня, что сохраняет несущую способность железобетонных конструкций.

3. С учетом НД [6], где предусматривается требование, что в железобетонных конструкциях слой бетона должен быть такой толщины, чтобы во время пожара арматурные стержни не нагревались выше 500 °С, можно считать холоднодеформированный арматурный прокат класса В500С огнестойким.

Библиографический список / References

1. Козлов А. В. Огнестойкость стального проката / А. В. Козлов // Прокатное производство. – 2004. – № 9. – С. 40–47.

Kozlov A. V. *Ognestoykost' stal'nogo prokata* [Fire-resistance of rolled steel]. Prokatnoye proizvodstvo. 2004, no. 9, pp. 40–47.

2. Скороходов В. Н. Строительная сталь / В. Н. Скороходов, П. Д. Одесский, А. В. Рудченко. – М.: ЗАО «Металлургиздат», 2002. – 624 с.

Skorokhodov V. N., Odesskiy P. D., Rudchenko A. V. *Stroitel'naya stal'* [Structural steel]. Moskov, Metallurgizdat. 2002, 624 p.

3. Рудешко І. В. Особливості хімічного складу і механічних властивостей вогнестійких сталей / І. В. Рудешко, Ю. А. Отрош, В. В. Золотарьов // Пожежна безпека: теорія і практика: зб. Наук. праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобіля, 2013. – № 13. – С. 116–122.

Rudeshko I. V., Otrosh Y. A., Zolotarev V. V. *Osoblyvosti khimichnogo skladu i mekhanichnykh vlastyvostey vohnestiykykh staley* [Features of the

chemical composition and mechanical properties of fire-resisting steels]. *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka*. Cherkasy, APB im. Heroyiv Chornobylya. 2013, no. 13, pp. 116–122.

4. EN 1992-1-2:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design. – Brussels, 2004.

5. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Ч. 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT). – Київ: Мінрегіон України, 2012. – 135 с.

DSTU-N B EN 1992-1-2:2012. *Yevrokod 2. Proyektuvannya zalizobetonnykh kons-truktsiy. Chastyna 1-2. Zahal'ni polozhennya. Rozrakhunok konstruktsiy na vohnestiykist' (EN 1992-1-2:2004, IDT)* [Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules–Structural fire design.]. Kyiv, Minrehion Ukrayiny, 2012, 135 p.

6. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство»». – 2006. – 78 с.

STO 36554501-006-2006. *Pravila po obespecheniyu ognestoykosti i ogneso-khrannosti zhelezobetonnykh konstruktsiy* [Rules to ensure the the fire resistance and ogneso-Security of reinforced concrete structures]. Mosckow, FGUP “NITS ‘Stroitel’stvo’”. 2006, 78 p.

7. Гуль Ю. П. Стабилизация упрочненного состояния холоднодеформированной низкоуглеродистой стали / Ю. П. Гуль, Г. И. Перчун // Митом. – 1992. – № 2. – С. 26–30.

Gul' Yu. P., Perchun G. I. *Stabilizatsiya uprochnennogo sostoyaniya kholodnodeformirovannoy nizkouglerodistoy stali* [Stabilization of the hardened state of cold-formed low carbon steel]. MitOM. 1992, no. 2, pp. 26–30.

8. Kirby B. R. The Behaviour of High-strength Grade 8.8 Bolts in Fire / B. R. Kirby // Journal of Constructional Steel Research. – 1995.– Vol. 33. – Issues 1–2. – P. 3–38.

Kirby B. R. *The Behaviour of High-strength Grade 8.8 Bolts in Fire*. Journal of Constructional Steel Research. 1995, vol. 33, issues 1-2, pp. 3-38.

9. Ивченко А. В. Огнесохранность холоднодеформированного арматурного проката класса В500С / А. В. Ивченко, Ю. П. Гуль, Р. В. Панков, П. В. Кондратенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2015. – № 5. – С. 24–29.

Ivchenko A. V., Gul Yu. P., Pankov R. V., Kondratenko P. V. *Ogneso-khrannost' kholodnodeformirovannogo armaturnogo prokata klassa B500S* [Fire-durability cold-rolled reinforcing bars B500C

¹Авторы с благодарностью примут замечания и пожелания относительно материалов и выводов по данной статье на e-mail: ivchenkoaleksv@gmail.com

class]. Beton i zhelezobeton v Ukraine. 2015, no. 5, pp. 24-29.

Purpose. Getting the experimental data on the the fire resistance of cold-rolled reinforcing strength class 500 MPa, which is of fundamental importance for the purpose areas use of these products.

Methodology. The fire-resistance evaluation was performed by rebar tensile comparative samples at room temperature and when heated to temperatures of 100–800 °C. Used for heating the tubular muffle furnace PRC 20×200/100 disposed between the jaws of the testing machine INSTRON 5984. Heating to this temperature over-lead with a temperature elevation rate of 30 °C per minute and after exposure to a predetermined temperature for 30 minutes, produced test.

Findings. The character of the change of strength properties of reinforcing B500C grade rolled steel grades S235 and SMn420 depending on the test temperature. It is shown that the values of the strength properties of the samples are almost on the same level until the temperature of 500 °C. The range of heating temperatures 500–600 °C occurs a gradual decrease, and at higher temperatures there is a sharp drop in strength properties. Based on these results, we can assume that the case of fire, heating rods cold-rolled reinforcing strength class 500 MPa at a temperature of 500 °C does not lead to a decrease in strength properties below the rated level, thereby keeping the load bearing capacity of reinforced concrete structures.

Originality. The first time in the national practice research conducted the fire resistance cold-rolled rebar B500C class strength by testing the samples heated to temperatures of 100–800 °C.

Practical value. Increase in volumes of use in the construction of cold-rolled rebar B500C class strength.

Key words: reinforcing bar, fire, temperature, heat, fire-resistance, durability.

От редакции журнала

Ниже приводятся выдержки из рецензии доктора технических наук, профессора А. С. Беликова на вышеуказанную статью.

В статье рассматриваются актуальные вопросы огнесохранности конструкционных материалов и области их применения по огнестойкости для строительных конструкций.

Сделанные авторами предложения по увеличению степени огнестойкости арматурного проката класса прочности B500C нуждаются в дополнительном обосновании. Обобщать данные предложения на государственные стандарты преждевременно.

Поступила 29.11.2016

