



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-39-46>
УДК 621.771.252

Поступила 03.01.2024
Received 03.01.2024

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРЫ № 6 КЛАССА ПРОЧНОСТИ А500С ФОРМЫ 2Ф В БУХТАХ ПО ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ 34028–2016

С. А. САВЧЕНКО, С. М. ВОЛОСОВИЧ, А. А. КУЧКОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: gnp.tu@bzm.gomel.by

И. В. АСТАПЕНКО, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: astapenko@tut.by

А. Б. СЫЧКОВ, Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия, пр. Ленина, 38. E-mail: absychkov@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по разработке и освоению технологического процесса прокатки арматуры в бухтах номинального диаметра 6 мм класса прочности А500С двухстороннего периодического профиля формы 2ф с обеспечением требуемых механических свойств, повышению комплексных качественных показателей на основе совершенствования химического состава и технологических режимов двухстадийного охлаждения на линии Стелмор с учетом ее охлаждающей и транспортирующей способностей. Предложен метод горячей прокатки арматуры с двухсторонним серповидным (2ф) профилем; рассмотрены технологические факторы, влияющие на прочностные, пластические и эксплуатационные свойства арматурного проката путем формирования его эффективной микроструктуры. Предложен химический состав стали и разработаны режимы термомеханического упрочнения арматуры с прокатного нагрева, обеспечивающие высокие потребительские свойства. Также приведены результаты механических испытаний арматурного проката в бухтах и сравнительные данные механических свойств и геометрических параметров арматуры.

Ключевые слова. Арматура в бухтах, конфигурация периодического профиля, двухстадийное охлаждение, самоотпуск мартенсита проката, феррито-перлитная микроструктура, предел текучести.

Для цитирования. Савченко, С. А. Разработка технологии и освоение производства арматуры № 6 класса прочности А500С формы 2ф в бухтах по требованиям ГОСТ 34028–2016 / С. А. Савченко, С. М. Волосович, А. А. Кучков, И. В. Астапенко, А. Б. Сычков // *Литье и металлургия*. 2024. № 1. С. 39–46. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-39-46>.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT OF PRODUCTION OF REINFORCEMENT NO. 6 OF STRENGTH CLASS A500S FORM 2F IN COILS ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF GOST 34028–2016

S. A. SAVCHENKO, S. M. VOLOSOVICH, A. A. KUCHKOV, OJSC “BSW – Management Company of “BMC” Holding”, Zhlobin, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: gnp.tu@bzm.gomel.by

I. V. ASTAPENKO, Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: astapenko@tut.by

A. B. SYCHKOV, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, 38, Lenin ave. E-mail: absychkov@mail.ru

The article presents the results of research on the development and mastery of the technological process of rolling reinforcement in coils with a nominal diameter of 6 mm of strength class A500C of a double-sided periodic profile of the 2f form, ensuring the required mechanical properties, improving complex quality indicators based on improving the chemical composition and technological modes of two-stage cooling on the Stelmor line taking into account its cooling and transporting abilities. A method of hot rolling of reinforcement with a double-sided crescent (2f) profile is proposed; technological factors influencing the strength, plastic and operational properties of reinforcing bars through the formation of its effective microstructure are considered. The chemical composition of steel was proposed and modes of thermomechanical hardening of reinforcement with rolling heating were developed, providing high consumer properties. The results of mechanical tests of rolled reinforcing bars in coils and comparative data on the mechanical properties and geometric parameters of the reinforcement are also presented.

Keywords. Reinforcement in coils, periodic profile configuration, two-stage cooling, self-tempering of rolled martensite, ferrite-pearlite microstructure, yield strength.

For citation. Savchenko S. A., Volosovich S. M., Kuchkov A. A., Astapenko I. V., Sychkov A. B. Development of technology and development of production of reinforcement no. 6 of strength class A500S form 2f in coils according to the requirements of GOST 34028–2016. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 1, pp. 39–46. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-39-46>.

Введение

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – предприятие) производит прокат арматурного периодического профиля в соответствии с широким перечнем нормативных документов. Для рынков стран СНГ арматурный прокат для железобетонных конструкций выпускался в основном в соответствии с требованиями двух межгосударственных стандартов – ГОСТ 5781–82 и ГОСТ 10884–94, национального стандарта ГОСТ Р 52544–2006 и стандарта организации СТО АСЧМ 7–93 (АСЧМ – Ассоциация предприятий и организаций по стандартизации продукции черной металлургии). Указанные документы в части требований к арматуре повторяют друг друга, но в некоторых вопросах имеют разночтения. Следует отметить, что ГОСТ 5781 нормирует требования к горячекатаной арматуре, ГОСТ 20884 – к термоупрочняемой арматуре, ГОСТ Р 52544 и СТО АСЧМ 7–93 – как к горячекатаному, так и к термоупрочняемому арматурному прокату.

По инициативе АО «НИЦ «Строительство» и ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина» разработан единый межгосударственный стандарт ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия», объединяющий все действующие на территории стран СНГ стандарты на арматурный прокат и повышающий требования к арматуре класса 400 МПа и выше до уровня европейской нормативной документации (EN 10138).

Новаторской идеей и основным отличием нового стандарта от ранее используемых стало широкое введение показателей, отвечающих за эксплуатационные характеристики арматуры. Обычный набор даточных характеристик металлоизделий содержит нормируемые уровни прочности, пластичности и геометрических параметров. Для арматуры на первое место выходят эксплуатационные характеристики в силу специфики ее использования, связанной с безопасностью людей и сооружений, с учетом совместной работы металла с бетоном.

Отдельной строкой в новом ГОСТ 34028–2016 предусмотрено испытание на механическое искусственное старение арматуры, т.е. испытание механических свойств арматуры после ее старения – специальной операции нагрева образцов до 100 °С, последующей выдержки при установившейся температуре в течение 60 мин и охлаждения на воздухе при температуре 20 °С (возможны также другие режимы проведения подобных испытаний). Также термическое воздействие на металл имитирует эксплуатацию арматуры в процессе развития старения во времени (сопротивляемость арматуры старению). Согласно литературным данным, после проведения процедуры старения увеличиваются твердость и прочность металла, но при этом снижаются вязкость и пластичность (процессы так называемого прямого старения металла). Однако полученные значения должны сохраняться на протяжении всего срока работы арматуры в железобетонной конструкции. В производстве арматурного проката немаловажно предотвращение старения металла известными способами [1].

Арматура в бухтах является разновидностью металлопроката, включающей метизы с гладким или периодическим профилем, диаметр которых не превышает 12 мм. Она отличается определенными достоинствами, среди которых особо стоит выделить возможность деления проката на отрезки необходимой длины посредством нарезки с минимизацией расхода проката при производстве арматурных конструкций. Кроме того, арматура в бухтах занимает гораздо меньше места при перевозке в сравнении с изделиями, поставляемыми в мерных прутах.

Арматура в бухтах производится из стали различного класса прочности и представлена обширным сортаментом изделий с различным диаметром и другими характеристиками. Благодаря этому такой материал может применяться для решения того же спектра задач, что и классическая строительная арматура: для крепления фундаментов и железобетонных конструкций; производства свариваемых арматурных сеток; вспомогательного армирования различных изделий, конструкций и поверхностей (полов, колонн и прочего) в сооружениях; создания арматурных каркасов и др.

Основная часть

Объект исследований – технологический процесс горячей прокатки арматуры № 6 класса прочности А500С конфигурации формы 2ф (рис. 1) по ГОСТ 34028–2016 в условиях прокатки на линии катанки стана 370/150.

В ГОСТ 34028–2016 впервые включены для свободного выбора и применения для всех классов арматурного проката А400, А500, А600, Ап600, А800 и А1000 четыре формы конфигураций периодического профиля: 1ф, 2ф, 3ф и 4ф. Принятая маркировка профилей различной формы не привязана к классам арматурного проката, как это имело место в стандартах ГОСТ 5781–82, ГОСТ 10884–94 и ГОСТ Р 52544–2006. Выбор формы профиля осуществляется исходя из практики и опыта применения периодических профилей аналогичной конфигурации и геометрических параметров, регламентируемых отмененными стандартами.

Арматура класса прочности А500С объединила в себе положительные качества арматуры с двухсторонним серповидным (2ф) профилем. Стоит отметить, что ее оценочные показатели по эффективности сцепления с бетоном несколько ниже, чем у арматуры по ГОСТ 5781–82, имеющей профиль с максимальной адгезией к бетону. Однако эксплуатационные характеристики такого профиля были очень плохие – высокий уровень концентрации напряжений, низкие усталостные свойства арматуры. Исследованиями НИИЖБ им. А. А. Гвоздева [2, 3] установлена способность нового профиля арматуры сохранять прочность сцепления при очень больших (до 10%) пластических деформациях стержней при растягивающих напряжениях на уровне и выше предела текучести. Данный показатель в 4–5 раз выше аналогичных показателей профилей вида 2ф, что обеспечивает конструкциям зданий и сооружений повышенную стойкость против прогрессирующего обрушения и при сейсмических воздействиях, так как способствует более надежной работе анкерующих участков и нахлесточных соединений арматуры, а также перераспределению усилий в статически неопределенных конструктивных системах и диссипации (рассеянию) энергии при однократном кратковременном и циклическом многократном динамическом нагружении [4, 5].

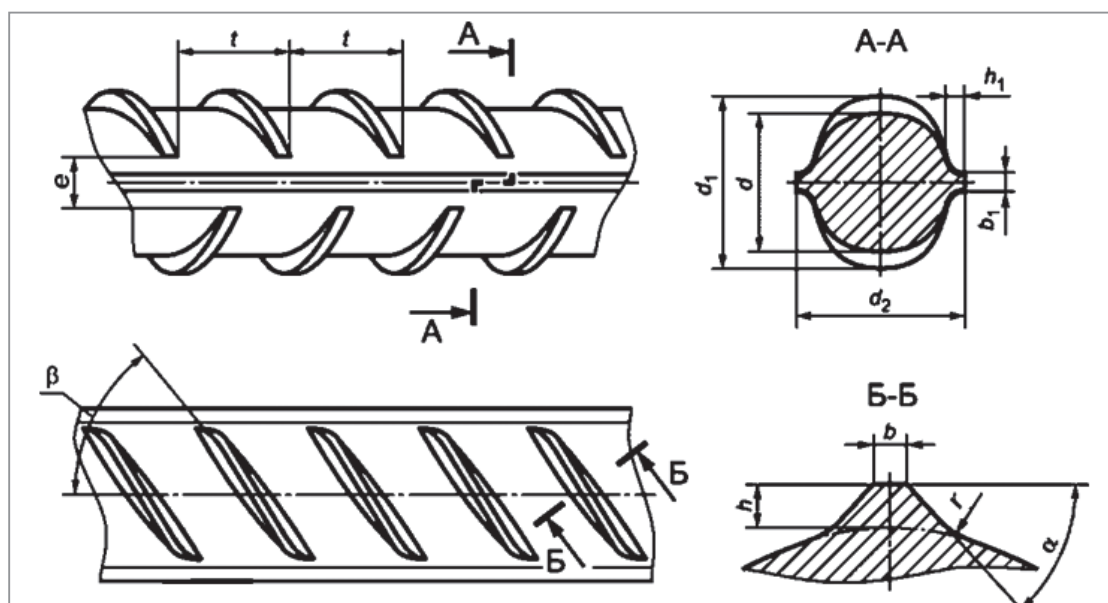


Рис. 1. Конфигурация периодического профиля формы 2ф по ГОСТ 34028–2016:

h , t , β – высота, шаг и угол наклона поперечных ребер соответственно; e – расстояние между концами поперечных ребер; α – угол наклона боковой поверхности поперечного ребра; r – радиус сопряжения поверхности поперечных ребер с сердечником стержня; b , b_1 – ширина поперечного и продольного ребра соответственно; d – диаметр стержня; d_1 , d_2 – диаметр по продольным и поперечным ребрам соответственно

Цель и задачи исследований

В связи с необходимостью перехода на новый нормативный документ для сохранения и расширения рынков сбыта в зоне стран СНГ в условиях предприятия разработана технология и проведены исследования по освоению производства арматуры периодического профиля номинального диаметра 6 мм формы 2ф класса А500С в бухтах по требованиям ГОСТ 34028–2016 в линии катанки стана 370/150. На первом (базовом) этапе освоения производства прокатку осуществляли согласно требованиям штатной технологической инструкции по утвержденной таблице калибровки [6, 7]. Для базовой эстафетной прокатки использовали химический состав непрерывнолитых заготовок сечением 140×140 (250×300) мм [8] для производства ранее освоенной арматуры № 8 класса А500С (табл. 1). Прокатано в общем объеме 3260 кг.

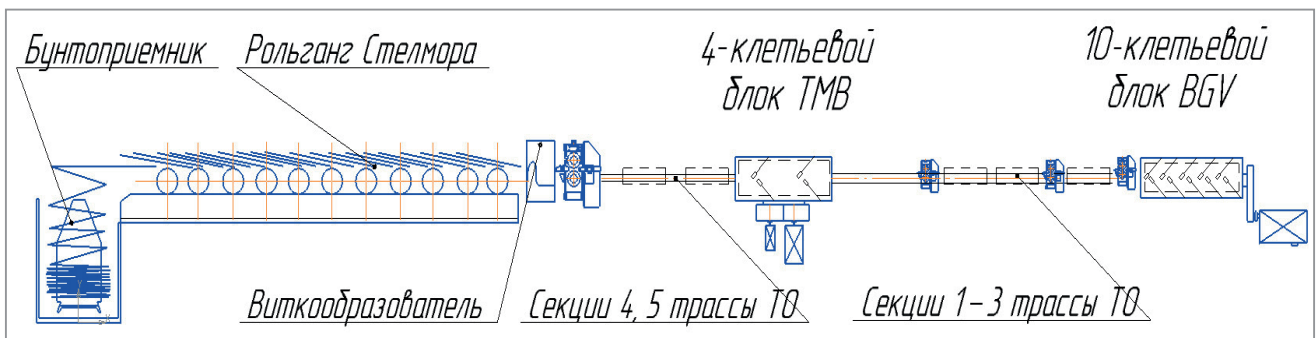
Таблица 1. Химический состав стали по базовому варианту, %

Химический состав	Номер арматуры	Диапазон	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N	C _{экв}
Требования ГОСТ 34028–2016	6	Минимум	–	–	–	–	–	не регламентируется		–	–	0,280 (№ 6)
		Максимум	0,220 (0,240)	0,900 (0,950)	1,600 (1,700)	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)			0,500 (0,550)	0,012 (0,013)	0,500 (0,520)
Минимум		0,180	0,250	1,000	–	–	–	–	–	–	0,420	
Цель		0,200	–	1,100	–	–	–	–	–	–	–	
Принятый диапазон		Максимум	0,220	0,450	1,200	0,030	0,035	0,290	0,290	0,300	0,012	0,500
		Примечания:	1. $C_{\text{экв}} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$. 2. Рекомендуемые пределы являются обязательными к исполнению. 3. В скобках указана массовая доля элементов в готовом сорте.									

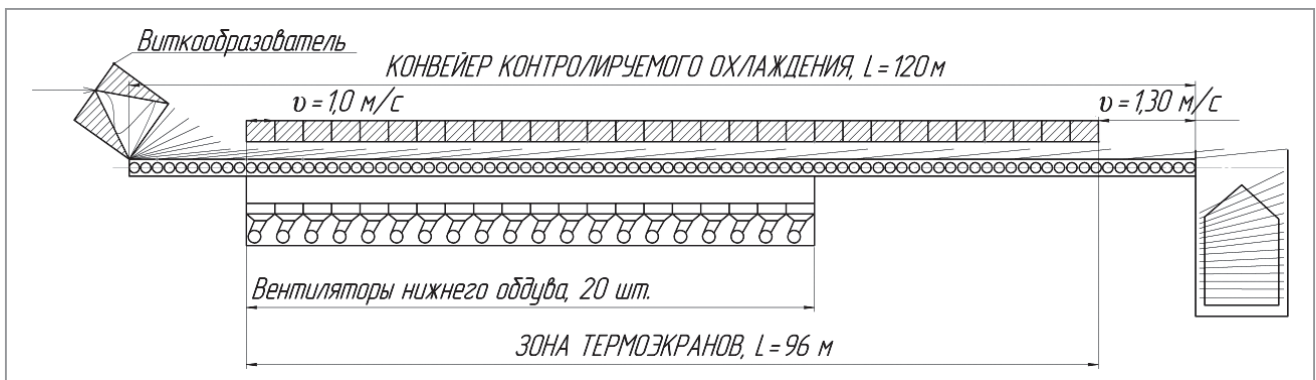
В ГОСТ 34028–2016 рекомендовано для обеспечения технологических свойств арматуры использовать микролегирования Nb, V, Mo. Однако легирование стали даже небольшим количеством карбидо- и нитридообразующих элементов значительно повышает себестоимость проката [9, 10].

Управление структурой, а через нее механическими и технологическими свойствами арматурного проката возможно за счет выбора эффективного режима поточной термомеханической обработки проката с использованием теплоты прокатного нагрева посредством двухстадийного охлаждения конца прокатки проволочных станов.

Двухстадийное охлаждение в линии катанки стана 370/150 (рис. 2, а) осуществляют на первой стадии водой в секциях № 1–3 после 10-клетьевого блока BGV и в секциях № 4, 5 после 4-клетьевого чистового блока до температуры ниже A_{c1} (для арматуры) в зоне виткообразователя. На второй стадии происходит охлаждение воздухом на рольганге конструкции Стелмора (рис. 2, б) после формирования витков на виткообразователе. По рольгангу витки катанки движутся с возможностью регулирования скорости и подачи воздуха от 20 вентиляторов максимум при открытых или закрытых термоизолирующих крышках [11].



а



б

Рис. 2. Схема поточного охлаждения в линии катанки стана 370/150:

а – компоновка элементов двухстадийного охлаждения проката; б – схема рольганга Стелмора

В процессе освоения производства арматуры № 6 предложен режим охлаждения (табл. 2) с мягким обдувом на первых пяти вентиляторах (20% мощности) при скорости транспортирования витков 0,45–0,55 м/с. Полученные значения по пределу текучести проката (табл. 3) находились на нижнем пределе допускаемых значений, а значит, предложенные режимы обеспечат гарантированное производство продукции в рамках требований ГОСТ 34028–2016.

Таблица 2. Режим охлаждения по базовому варианту

Номер профиля	Скорость прокатки, м/с	Температура после гидросбива, °С	Температура подката, °С		Вентиляторы		Скорость секторов рольганга		Положение крышек роликового транспортера по номерам
			на входе в блок BGV	в зоне виткообразователя	номер рабочих вентиляторов	мощность включения, %	скорость Стелмора, м/с	номер сектора/%	
6	46–55	1020–1060	900–940	580 ± 20	1–5	20	+0,45–0,55	2–14/+2; 15–18/0; 19/–3; 20/+2	1–32 открыты

Таблица 3. Механические свойства по базовому варианту

Номер опытного образца	Предел текучести Re, Н/мм ²	Предел прочности Rm, Н/мм ²	Пластичность, Rm/Re
1	504	645	1,28
2	514	650	1,26
3	536	661	1,23
4	501	644	1,29
5	509	646	1,27
6	523	652	1,25
7	511	651	1,27
8	536	658	1,23
Средние значения	516,8	650,9	1,26
Требования ГОСТ 34028–2016	не менее 500	не менее 600	не менее 1,05

В процессе анализа возможных причин низкого значения предела текучести проведены испытания [12] образцов арматуры после снятия: неохлажденных витков; 50 витков; 70 витков (н – начало, к – конец бухты). Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты исследования предела текучести концов арматуры № 6 в бухтах

Номер образца	Предел текучести Re, Н/мм ²		
	Неохлажденные витки (без обрезки)	50 витков с начала и конца бухты	70 витков с начала и конца бухты
1.1к/1.2к/1.3к/1.4к	506/528/501/523	598/621/597/594	602/646/600/588
1.1н/1.2н/1.3н/1.4н	414/429/425/434	569/580/687/582	593/588/596/626

Анализ механических свойств проката показал, что длина концевой обрезки (50 м) позволяет получать арматуру № 6 класса прочности А500С с конфигурацией формы 2ф с гарантированным выполнением требований ГОСТ 34028–2016. Однако это существенно повышает расходный коэффициент металла. Поэтому для повышения механических свойств арматуры на втором этапе исследований принято решение повысить нижний предел следующих элементов: углерод с 0,18 до 0,19%; кремний с 0,25 до 0,35%; марганец с 1,00 до 1,17% (табл. 5), а также увеличить интенсивность охлаждения с 20 до 30% (табл. 6) с увеличением скорости транспортирования до 1,06 м/с в соответствии с методикой [13].

Во второй кампании произведен прокат заготовок (28 шт.) по усовершенствованному варианту химического состава и режиму двухстадийного охлаждения. Результаты испытаний представлены в табл. 7.

Анализ механических свойств проката показывает, что усовершенствованный вариант позволяет получать арматуру № 6 класса прочности А500С конфигурации формы 2ф с гарантированным выполнением требований ГОСТ 34028–2016.

Таблица 5. Химический состав стали по усовершенствованному варианту, %

Химический состав	Номер арматуры	Диапазон	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N	C _{экв}
Требования ГОСТ 34028–2016	6	Минимум	–	–	–	–	–	не регламентируется		–	–	0,280 (№ 6)
		Максимум	0,220 (0,240)	0,900 (0,950)	1,600 (1,700)	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)			0,500 (0,550)	0,012 (0,013)	0,500 (0,520)
Минимум		0,190	0,350	1,170	–	–	–	–	–	–	0,430	
Цель		0,215	0,450	1,250	–	–	–	–	–	–	0,480	
Максимум		0,220	0,500	1,300	0,030	0,035	0,290	0,290	0,300	0,012	0,500	
Примечания:			1. $C_{экв} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$. 2. Рекомендуемые пределы являются обязательными к исполнению. 3. В скобках указана массовая доля элементов в готовом сорте.									

Таблица 6. Режим охлаждения по усовершенствованному варианту

Номер профиля	Скорость прокатки, м/с	Температура после гидросбива, °С	Температура подката, °С		Вентиляторы		Скорость секторов рольганга		Положение крышек роликового транспортера по номерам
			на входе в блок BGV	в зоне витко-образователя	номер рабочих вентиляторов	мощность включения, %	скорость Стелмора, м/с	номер сектора/%	
6	46–55	1020–1060	900–940	580 ± 20	2–6	30	1,06	2–14/+2; 15–18/0; 19–30; 20/+2	1–32 открыты

Таблица 7. Механические свойства по усовершенствованному варианту

Плавка	Предел текучести Re, Н/мм ²	Предел прочности Rm, Н/мм ²	Пластичность, Rm/Re
Средние значения	570	735	1,295
Требования ГОСТ 34028–2016	не менее 500	не менее 600	не менее 1,05

Микроструктура арматурного проката имеет упрочненный поверхностный слой, состоящий из мартенсита отпуска, мелкозернистую феррито-перлитную структуру в центре прутка и тонкий переходный бейнитный слой, который может присутствовать или отсутствовать в зависимости от диаметра проката (рис. 3, а) [9]. Анализ микроструктуры образцов прокатанной арматуры № 6 по усовершенствованному варианту (рис. 3, б) показал, что, несмотря на малый размер сечения, существует ярко выраженное кольцо мартенсита отпуска шириной 0,3–0,5 мм.

Результаты исследований

После окончания всех работ по усовершенствованию и оптимизации технологического процесса подписан акт постановки продукции на производство. Коллектив авторов предприятия удостоен звания лауреата премии Ассоциации литейщиков и металлургов Республики Беларусь «За освоение технологии производства горячекатаной арматуры в бухтах двухстороннего периодического профиля № 6 класса А500С по ГОСТ 34028–2016 на стане 370/150 СПЦ-2».

Выводы

1. В ГОСТ 34028–2016 существенно повышены требования к комплексу эксплуатационных свойств арматуры: пластичности, свариваемости и коррозионной стойкости. При этом снижены допускаемые уровни содержания химических элементов. В этой ситуации выполнение требований стандарта без применения микролегирования стали такими элементами, как Nb, V, Mo, а также в горячекатаном состоянии крайне затруднительно. Кроме того, необходимо определение оптимального сочетания основных химических элементов в рамках углеродного эквивалента. Опыт освоения производства арматуры № 6, 7, 8 по новому стандарту показал, что с увеличением номинального диаметра необходимость в указанных мероприятиях более актуальна.

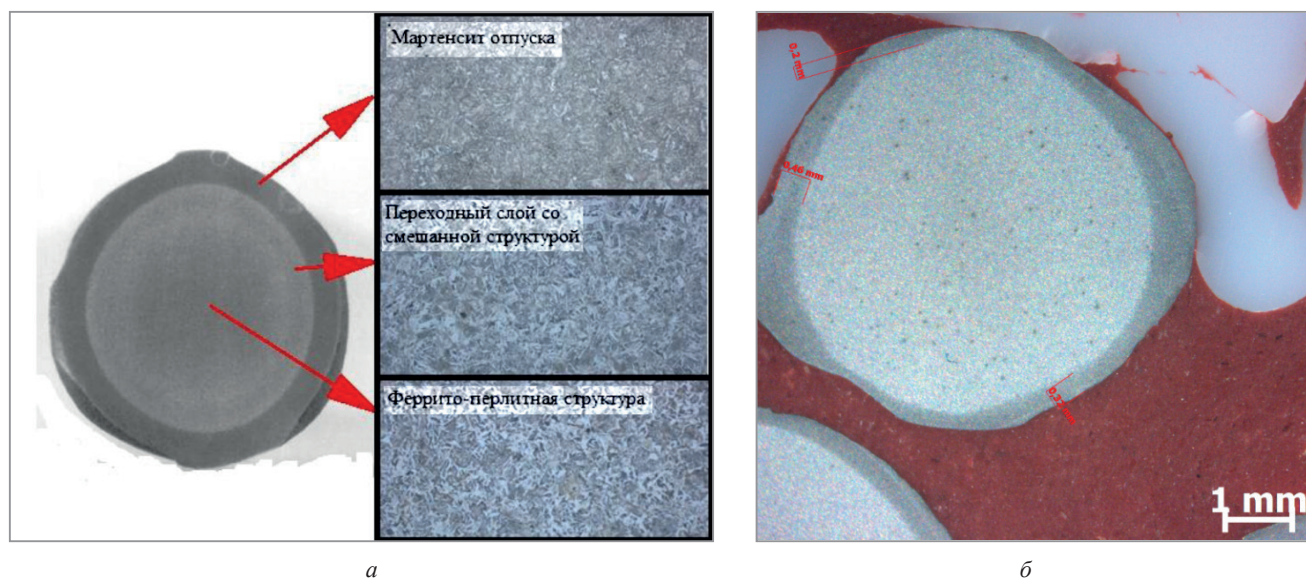


Рис. 3. Квазикомпозитная структура термоупрочненного проката класса А500С:
а – схема распределения слоев; б – макроструктура полученной арматуры № 6

2. Механические свойства холодных концов арматуры в бухтах значительно ниже, чем у основной массы. Определение эффективной длины концевой обрезки позволяет повысить механические показатели проката в бухте, но увеличивает коэффициент расхода металла.

3. Наибольшую эффективность поточной термообработки показал следующий режим: охлаждение с температурой выхода катанки на виткообразователь на 100–150 °С ниже Ас1 (температура виткообразования 580–620 °С) после водяного охлаждения, равномерное воздушное принудительное охлаждение витков интенсивностью 30% в начале (первые 5–6 вентиляторов), последующее произвольное охлаждение по оставшейся дистанции рольганга Стелмора.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зайцева, М. В.** Стратегия развития производства арматурной проволоки класса 500 в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» / М. В. Зайцева, Э. П. Дрягун // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 8. – С. 232–240.
2. Эффективная арматура для железобетонных конструкций зданий, проектируемых с учетом воздействия особых нагрузок / И. Н. Тихонов [и др.] // Строительные материалы. – 2017. – № 3. – С. 39–45.
3. **Тихонов, И. Н.** О влиянии свойств новых видов арматурного проката на надежность и экономическую эффективность железобетонных конструкций / И. Н. Тихонов, Л. И. Елшина // Вестник НИЦ «Строительство». – 2017. – № 1. – С. 54–67.
4. **Квасников, А. А.** Особенности применения арматурного проката с различным периодическим профилем по ГОСТ 34028–2016 / А. А. Квасников, И. П. Саврасов, В. А. Харитонов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2019. – Т. 75, № 5. – С. 593–601.
5. **Тихонов, И. Н.** Оценка эффективности арматурного проката с различными видами периодического профиля поверхности / И. Н. Тихонов // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С. 29–35.
6. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путьев [и др.] // Литье и металлургия. – 2021. – № 3. – С. 65–73.
7. **Васильков, Д. М.** Исследование параметров очага деформации полосы при прокатке в вальцах с ящичными калибрами черновой группы клетей стана 370/150 ОАО «БМЗ» / Д. М. Васильков // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2018 г. / под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 178–182.
8. **Домов, Д. В.** Влияние ванадия на механические и потребительские свойства свариваемой арматурной стали классов прочности А500С и А600С / Д. В. Домов, И. И. Франтов, А. Н. Борцов // Металлург. – 2015. – № 10. – С. 65–69.
9. **Сычков, А. Б.** Освоение производства арматурного проката по новому ГОСТ 34028–2016 / А. Б. Сычков, А. В. Дегтярев, М. В. Блохин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 30–35.
10. Исследование факторов, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали / И. А. Панковец [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2021. – Т. 77, № 7. – С. 804–810.
11. Влияние исходной структуры бунтового проката из подшипниковой марки стали на равномерность получения структуры после сфероидизирующего отжига / С. А. Савченко [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2023. – Т. 79, № 3. – С. 251–260.
12. **Кучков, А. А.** Исследование влияния концевой обрезки на механические свойства арматурного профиля № 6 класса А500С / А. А. Кучков // Эффективные инженерные решения [Электронный ресурс]: сб. стендовых докл. науч.-практ. конф. студентов, Гомель, 15 мая 2023 г. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 32.

REFERENCES

1. **Zajceva M.V., Dryagun E.P.** Strategiya razvitiya proizvodstva armaturnoj provoloki klassa 500 v usloviyah OAO "MMK-METIZ" [Strategy for the development in manufacturing of 500b type wire for reinforced concrete in OJSC "MMK-METIZ"]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of the TSU. Technical science*, 2020, no. 8, pp. 232–240.
2. **Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Zvezdov A.I., Savrasov I.P.** Effektivnaya armatura dlya zhelezobetonykh konstruksiy zdaniy, proyektiruyemykh s uchedom vozdeystviya osobykh nagruzok [Efficient reinforcement for reinforced concrete structures of buildings designed with due regard for impact of special loads]. *Stroitel'nyye materialy = Construction materials*, 2017, no. 3, pp. 39–45.
3. **Tikhonov I.N., Elshina L.I.** O vliyaniy svoystv novykh vidov armaturnogo prokata na nadezhnost' i ekonomicheskuyu effektivnost' zhelezobetonykh konstruksiy [Property impact of the innovative rebar on reliability and economic efficiency of concrete structures]. *Vestnik NITS "Stroitel'stvo" = Bulletin of Science and research center of construction*, 2017, no. 1, pp. 54–67.
4. **Kvasnikov A.A., Savrasov I.P., Kharitonov V.A.** Osobennosti primeneniya armaturnogo prokata s razlichnym periodicheskim profilom po GOST 34028–2016 [Peculiarities of application of rebars with various periodic profile as per GOST 34028–2016]. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 5, pp. 593–601.
5. **Tikhonov I.N.** Otsenka effektivnosti armaturnogo prokata s razlichnymi vidami periodicheskogo profilya poverkhnosti [Assessing the efficiency of reinforcing bars with various types of periodic surface profiles]. *Stroitel'nyye materialy = Construction materials*, 2013, no. 3, pp. 29–35.
6. **Puteyev V.S., Savchenko S.A., Pankovets I.A., Voznaya V.I., Astapenko I.V.** Sovershenstvovaniye tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva podshipnikovykh marok stali na stane 370/150 [Improvement of the technological process of manufacturing bearing grades of steel at the 370/150 mill]. *Lit'ye i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 65–73.
7. **Vasilkov D.M., Astapenko I.V.** Issledovaniye parametrov ochaga deformatsii polosy pri prokatke v valkakh s yashchichnymi kalibrami chernovoy gruppy kletey stana 370/150 OAO "BMZ" [Study of the parameters of the strip deformation zone during rolling in rolls with box gauges of the roughing group of stands of mill 370/150 OJSC "BSW"]. *Issledovaniya i razrabotki v oblasti mashinostroyeniya, energetiki i upravleniya: materialy XVIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Gomel', 26–27 apr. 2018 g. = Research and development in the field of mechanical engineering, energy and management: materials of the XVIII International scientific-technical conf. students, graduate students and young scientists, April 26–27. Gomel, 2018*, pp. 178–182.
8. **Domov D.V., Frantov I.I., Bortsov A.N.** Vliyaniye vanadiya na mekhanicheskiye i potrebitel'skiye svoystva svarivayemoy armaturnoy stali klassov prochnosti A500S i A600S [Influence of vanadium on mechanical and consumer properties of welded bar steels of strength classes A500C and A600C]. *Metallurg*, 2015, no. 10, pp. 65–69.
9. **Sychkov A.B., Degtyarev A.V., Blokhin M.V.** Osvoyeniye proizvodstva armaturnogo prokata po novomu GOST 34028–2016 [Development of production of reinforcing bars according to the new GOST 34028–2016]. *Aktual'nyye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya = Current problems of modern science, technology and education*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 30–35.
10. **Pankovets I.A., Savchenko S.A., Voznaya V.I., Vereshchagin M.N., Astapenko I.V.** Issledovaniye faktorov, sposobstvuyushchikh snizheniyu karbidnoy neodnorodnosti v podshipnikovykh markakh stali [Study of factors contributing to decrease of carbide heterogeneity in bearing grades of steel]. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2021, vol. 77, no. 7, pp. 804–810.
11. **Savchenko S.A., Kovaleva I.A., Guzova I.A., Sychkov A.B.** Vliyaniye iskhodnoy struktury buntovogo prokata iz podshipnikovoy marki stali na ravnomernost' polucheniya struktury posle sferoidiziruyushchego otzhiga [Influence of initial structure of rolled sections in coils of bearing steel grade on uniformity of obtained structure after spheroidizing annealing]. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2023, vol. 79, no. 3, pp. 251–260.
12. **Kuchkov A.A., Astapenko I.V.** Issledovaniye vliyaniya kontsevoy obrezi na mekhanicheskiye svoystva armaturnogo profilya № 6 klassa A500S [Study of the influence of end trim on the mechanical properties of reinforcing profile No. 6 class A500C] [Electronic resource]. *Effektivnyye inzhenernyye resheniya: sb. stendovykh dokl. nauch.-prakt. konf. studentov, Gomel', 15 maya 2023 g. = Effective engineering solutions: collection. poster reports scientific-practical conf. students, Gomel, May 15, 2023*. p. 32. <https://elib.gstu.by/bitstream/handle/220612/28310/ehffektivnye-inzhenernye-resheniya.pdf?sequence=1>.