

УДК 621.771.252

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРЫ № 7 КЛАССА ПРОЧНОСТИ А400С ФОРМЫ 4Ф В БУНТАХ ПО ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ 34028–2016

А. А. КУЧКОВ, С. А. САВЧЕНКО

*Открытое акционерное общество
«Белорусский металлургический завод –
управляющая компания холдинга
«Белорусская металлургическая компания», г. Жлобин*

И. В. АСТАПЕНКО, Г. А. СЛЕПНЕВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Представлены результаты исследований по разработке и освоению технологического процесса прокатки бунтовой арматуры номинального диаметра 7 мм класса прочности А400С четырехстороннего периодического профиля формы 4ф с обеспечением требуемых механических свойств, повышению комплексных качественных показателей на основе совершенствования химического состава и технологических режимов двухстадийного охлаждения на линии Стельмора. Дан метод горячей прокатки арматуры четырехстороннего профиля; 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. Приведены также результаты механических испытаний бунтового арматурного проката и сравнительные данные механических свойств и геометрических параметров арматуры.

Ключевые слова: арматура в мотках, конфигурация периодического профиля, двухстадийное охлаждение, самоотпуск мартенсита проката, ферритоперлитная микроструктура, предел текучести, микролегирование ванадием.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY TECHNOLOGY DEVELOPMENT AND PRODUCTION MASTERING OF REINFORCEMENT № 7 WITH STRENGTH CLASS A400C 4F FORM IN COILS ACCORDING THE REQUIREMENTS OF GOST 34028–2016

A. A. KUCHKOV, S. A. SAVCHENKO

*Open Joint-Stock Company “Belarusian Steel Works –
Management Company of “Belarusian Metallurgy Company”
holding”, Zhlobin*

I. V. ASTAPENKO, G. A. SLEPNEV

*Sukhoi State Technical University of Gomel,
the Republic of Belarus*

The results of research on the development and mastering of the technological process of rolling coil reinforcement with a nominal diameter of 7 mm of strength class A400S with a four-sided periodic profile of the 4f shape are presented. Required mechanical properties, increasing complex quality indicators based on improving the chemical composition and technological modes of two-stage cooling on the Stelmor line are ensured. A method of hot rolling of four-sided profile reinforcement is given. Technological factors influencing the strength, plastic and operational properties of reinforcement rolling 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 service properties. The results of mechanical tests of coiled reinforcement rolling 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, vanadium microalloying.

Введение

Открытое акционерное общество «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» (далее – ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК») производит прокат арматурного периодического профиля в соответствии с широким перечнем нормативных документов. Для рынков Российской Федерации и стран СНГ арматурный прокат для железобетонных конструкций выпускался в основном в соответствии с требованиями двух межгосударственных стандартов ГОСТ 5781–82 и ГОСТ 10884–94, а также национального стандарта ГОСТ Р 52544–2006 и стандарта организации СТО АСЧМ 7–93 (АСЧМ – Ассоциация предприятий и организаций по стандартизации продукции черной металлургии). Указанные стандарты в основе требований к арматуре повторяют друг друга, но в некоторой части вопросов имеются разночтения. Следует отметить, что ГОСТ 5781–82 нормирует требования к горячекатаной арматуре, ГОСТ 10884–94 – к термоупрочняемой арматуре, ГОСТ Р 52544–2006 и СТО АСЧМ 7–93 – как к горячекатаному, так и к термоупрочняемому арматурному прокату.

В 2016 г. по инициативе акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство» и Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии имени И. П. Бардина» закончилась разработка единого межгосударственного стандарта с целью объединения всех действующих на территории Российской Федерации и стран СНГ стандартов на арматурный прокат и повышения требований к арматуре $\sigma_{\text{т}} \geq 400$ МПа и выше до уровня европейской нормативной документации (EN 10138).

Основным отличием нового стандарта от используемых в настоящее время и его новаторской идеей стало широкое введение показателей, отвечающих за эксплуатационные характеристики арматуры. Обычный набор стандартных характеристик металлоизделий содержит нормируемые уровни прочности, пластичности и деформационных параметров. Для арматуры на первое место выступают 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 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» предусмотрено испытание на механическое искусственное старение арматуры, т. е. испытание механических свойств арматуры после ее старения – специальной операции нагрева образцов арматуры до 100 °С, последующей выдержке при установившейся температуре в течение 60 мин и охлаждении на воздухе при температуре 20 °С (возможны также и другие режимы проведения испытаний на механическое старение). Данное термическое воздействие на металл имитирует эксплуатацию арматуры в процессе развития старения металла во времени (сопротивляемость арматуры старению), и, согласно литературным данным, после проведения процедуры старения увеличиваются твердость и прочность

металла, но при этом снижаются вязкость и пластичность (это процессы прямого старения металла), однако эти значения должны сохраняться на протяжении всего срока работы арматуры в железобетонной конструкции. Немаловажным в процессе производства арматурного проката является предотвращение явления старения металла известными способами [1].

Арматура в бунтах является разновидностью металлопроката, включающей мезиты с гладким или периодическим профилем, диаметр которых не превышает 12 мм. Эта арматура 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. Дополнительным плюсом является то, что бунтовая арматура занимает существенно меньше места при перевозке в сравнении с изделиями, поставляемыми в мерных прутах.

Бунтовая арматура произведена 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: крепление фундаментов и железобетонных конструкций; производство свариваемых арматурных сеток; вспомогательное армирование различных изделий, конструкций и поверхностей (полов, колонн и прочего) в сооружениях; создание арматурных каркасов и многое другое.

Основная часть

Объектом исследований в работе является технологический процесс горячей прокатки арматуры № 7 класса прочности А400С конфигурации формы 4ф (рис. 1) по ГОСТ 34028–2016 в условиях прокатки на линии катанки стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».

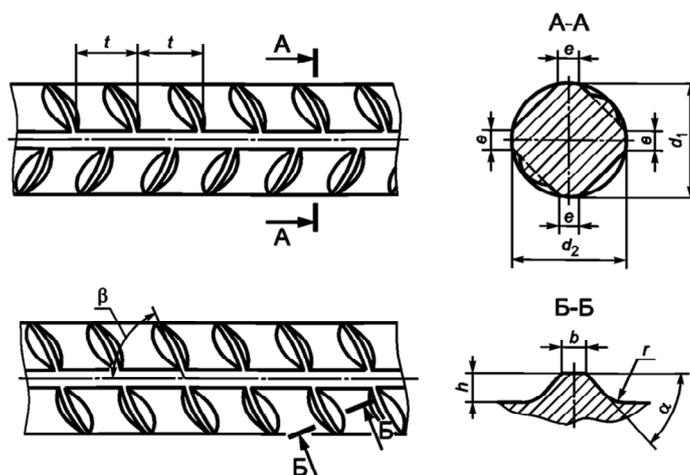


Рис. 1. Конфигурации периодического профиля формы 4ф по ГОСТ 34028–2016:

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

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.

та, как это имело место в отмененных 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.

Арматурный прокат с четырехсторонним периодическим профилем формы 4ф обладает наиболее полным набором качеств оптимального профиля с учетом технологических факторов производства арматуры и оптимальных параметров сцепления. Из-за повышенных характеристик сцепления с бетоном при проектировании железобетонных конструкций на площадках сейсмичностью 7–9 баллов следует отдавать предпочтение арматуре с периодическим профилем поверхности, имеющим четырехрядное расположение поперечных ребер и оптимальные значения относительной площади смятия. Этому способствуют подтвержденная экспериментами относительно низкая распорность профиля в бетоне и малая длина зоны передачи напряжений на бетон при отпуске натяжения арматуры [2, 3].

Цель и задачи исследования

Проведение научно-исследовательских и производственно-технологических мероприятий по освоению производства арматуры периодического профиля номинального диаметра 7 мм формы 4ф класса прочности А400С в бунтах по требованиям ГОСТ 34028–2016 в линии катанки стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» осуществлялось в связи с необходимостью перехода на новый нормативный документ для сохранения и расширения рынков сбыта в зоне стран СНГ.

Задачами исследования являются разработка оптимального химического состава стали, режима поточного охлаждения, а также определение длины концевой обреза.

На первом (базовом) этапе освоения производства прокатка осуществлялась согласно требованиям штатной технологической инструкции по утвержденной таблице калибровки [4]. Для базовой эстафетной прокатки использовался химический состав непрерывнолитых заготовок сечением 140 × 140 мм (250 × 300 мм), представленный в табл. 1.

Таблица 1

Массовая доля элементов в базовом химическом составе стали, %

| Химический состав | Номер структуры | Диапазон | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | V | Cu | N | C _{экв.} |
|----------------------------|-----------------|----------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|----|---|----------------|------------------|-------------------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| Требования ГОСТ 34028–2016 | 7 | Минимум | – | – | – | – | – | Не регламентируется | | | – | – | – |
| | | Максимум | 0,22 (0,24) | 0,90 (0,95) | 1,60 (1,70) | 0,050 (0,055) | 0,050 (0,055) | – | – | – | 0,35 (0,35) | 0,012 (0,013) | 0,62 (0,64) |
| Рекомендация производству | 7 | Минимум | 0,18 | 0,25 | 1,00 | – | – | – | – | – | – | – | 0,42 |
| | | Цель | 0,20 | – | 1,10 | – | – | – | – | – | – | – | 0,47 |
| | | Максимум | 0,22 | 0,45 | 1,20 | 0,030 | 0,035 | – | – | – | 0,30 | 0,012 | 0,51 |

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.

Управление структурой, а через нее механическими и технологическими свойствами арматурного проката возможно за счет выбора эффективного режима поточной

термомеханической обработки проката с использованием тепла прокатного нагрева посредством двухстадийного охлаждения конца прокатки проволочных станов.

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

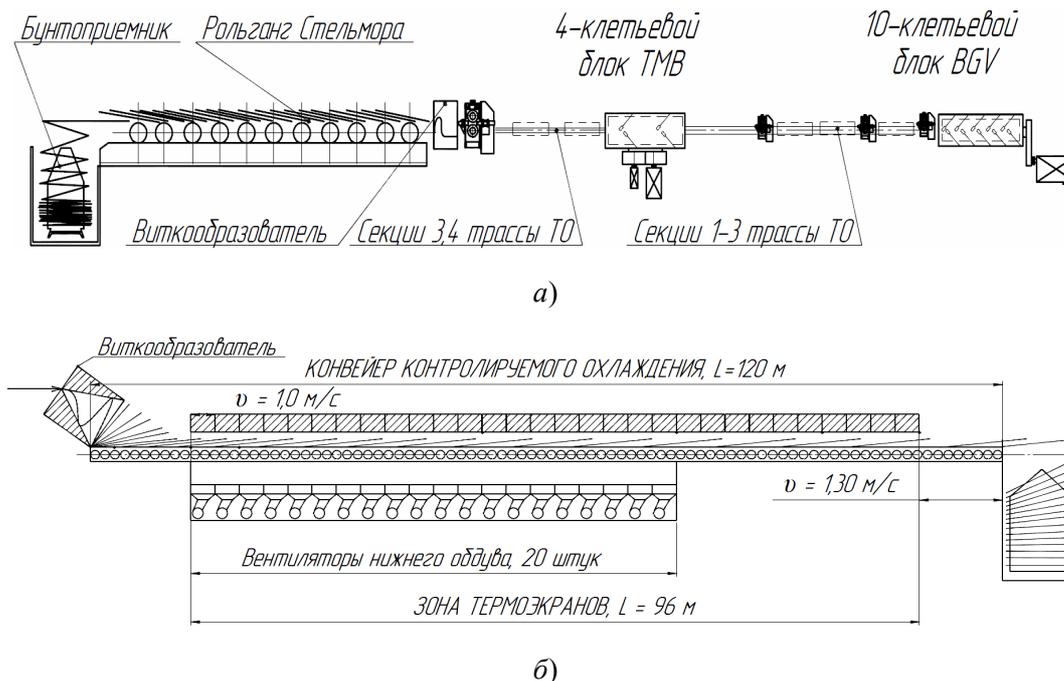


Рис. 2. Схема поточного охлаждения в линии катанки стана 370/150:
а – компоновка элементов двухстадийного охлаждения проката;
б – схема рольганга Стельмора

В ходе эстафетной базовой прокатки шести плавок, замаркированных под номерами 1–6, использовался режим двухстадийного охлаждения, представленный в табл. 2.

Таблица 2

Режимы охлаждения арматуры периодического профиля базового варианта

| Но- мер про- фи- ля | Ско- рость про- катки, м/с | Темпера- тура после гидро- сбива, °С | Температура подката, °С | | Вентиляторы | | Скорость секторов рольганга | | Положение крышек роликового транспорте- ра по номе- рам |
|---------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| | | | на входе в блок BGV | в зоне витко- образо- вателя | номер рабо- чих венти- лято- ров | мощ- ность вклю- чения, % | ско- рость Стель- мора, м/с | номер сектора / % | |
| 7 | 55–70 | 1020–1060 | 900–940 | 700 ± 20 | 1–5 | 20 | 1 | 2–14 / + 2; 15–18 / 0; 19 / – 30; 20 / + 2 | 1–32 (открыты) |

Анализируя полученные результаты контроля параметров полученной арматуры можно сделать вывод о том, что химический состав и технологические режимы проката базового варианта производства позволяют получить все требуемые показатели по ГОСТ 34028–2016, но не обеспечивают стабильное получение необходимого уровня механических свойств, а именно предела прочности (табл. 3).

Таблица 3

Механические свойства арматуры произведенной по базовому варианту

| Плавка | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | По ГОСТ 34028–2016 |
|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|
| Предел текучести R_e , Н/мм ² | 429 | 426 | 419 | 429 | 415 | 419 | Не менее 390 |
| Предел прочности R_m , Н/мм ² | 495 | 594 | 497 | 495 | 590 | 594 | Не менее 590 |

Было проведено микроструктурное исследование микрошлифов арматурного проката с неудовлетворительными и удовлетворительными механическими характеристиками в светлом поле зрения с помощью инвертированного металлографического микроскопа отраженного света OLYMPUS GX-51 с цифровой системой изображений. Микрошлифы были протравлены в 4 %-м растворе азотной кислоты. Микроструктура металла ферритоперлитная, не имеет существенных различий (рис. 3, 4).



а)



б)

Рис. 3. Микроструктура образца с неудовлетворительным пределом прочности:
а – увеличение $\times 100$; б – увеличение $\times 200$



а)



б)

Рис. 4. Микроструктура образца с удовлетворительным пределом прочности:
а – увеличение $\times 100$; б – увеличение $\times 200$

Возникла необходимость в дополнительных исследованиях по обеспечению требуемого предела прочности проката. Для выполнения требований было предложено

произвести выплавку заготовок базового химического состава, но с микролегированием ванадием (0,02–0,04 %), позволяющим повысить механические и потребительские свойства свариваемой арматурной стали [6, 7].

По усовершенствованному химическому составу с микролегированием ванадием было проведена серия из шести плавов (под номерами 11, 22, 33, 44, 55, 66). Результаты анализа химического состава заготовок указанных плавов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Усовершенствованный химический состав стали, %

| Плавка | C | Si | Mn | P | S | Cr | Cu | Al | Ti | V | C _{экв} |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|------------------|
| 11 | 0,201 | 0,267 | 1,15189 | 0,0139 | 0,00539 | 0,09689 | 0,201 | 0,016 | 0,0020 | 0,0311 | 0,445 |
| 22 | 0,20576 | 0,24499 | 1,1407 | 0,0149 | 0,0105 | 0,09868 | 0,198 | 0,013 | 0,0014 | 0,0314 | 0,446 |
| 33 | 0,18816 | 0,25211 | 1,13051 | 0,015 | 0,00717 | 0,08367 | 0,191 | 0,014 | 0,0014 | 0,0364 | 0,421 |
| 44 | 0,20713 | 0,25686 | 1,13347 | 0,01563 | 0,00975 | 0,08029 | 0,178 | 0,015 | 0,0016 | 0,0346 | 0,44 |
| 55 | 0,201 | 0,245 | 1,13998 | 0,0215 | 0,01421 | 0,108 | 0,217 | 0,015 | 0,0015 | 0,0299 | 0,442 |
| 66 | 0,20271 | 0,24744 | 1,13165 | 0,0304 | 0,01306 | 0,132 | 0,208 | 0,016 | 0,0015 | 0,0304 | 0,447 |

Режим двухстадийного охлаждения арматуры с усовершенствованным химическим составом полностью соответствовал базовому варианту, поскольку был разработан по методике, хорошо зарекомендовавшей себя в ходе предыдущих собственных исследований [8, 9]. Результаты испытаний по определению механических свойств представлены в табл. 5.

Таблица 5

Механические свойства арматуры с усовершенствованным химическим составом

| Плавка | 11 | 22 | 33 | 44 | 55 | 66 | По ГОСТ 34028–2016 |
|----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|
| Предел текучести Re, Н/мм ² | 434 | 427 | 429 | 418 | 425 | 425 | Не менее 390 |
| Предел прочности Rm, Н/мм ² | 617 | 623 | 622 | 624 | 626 | 625 | Не менее 590 |

После получения стабильных механических характеристик проката было выполнено исследование геометрических размеров, массы погонного метра и маркировки арматуры, прокатанной по усовершенствованному варианту на соответствие требованиям ГОСТ 34028–2016. Исследование осуществлялось на измерительном приборе неразрушающего контроля геометрических параметров арматурной стали RM 303 (рис. 5) по методике, описанной в [10].

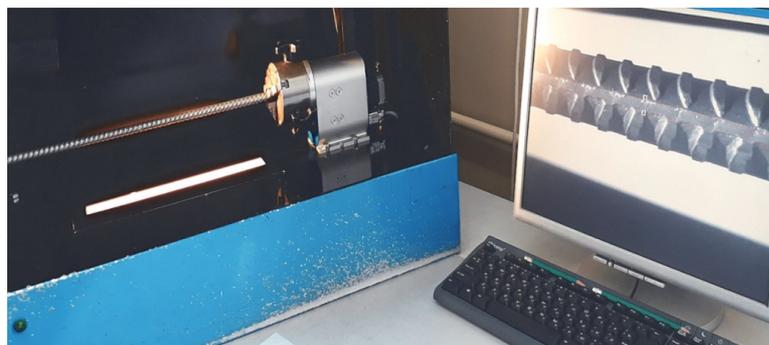


Рис. 5. Прибор измерительный геометрических параметров арматурной стали RM 303

Полученные результаты исследования показали полное соответствие геометрии арматуры усовершенствованного варианта производства требованиям ГОСТ 34028–2016. Результаты измерений представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты измерений геометрических размеров, массы погонного метра и прокатной маркировки арматуры класса А400С на соответствие требованиям ГОСТ 34028–2016

| Плавка | Овальность, мм | Высота поперечного ребра h , мм | Шаг между ребрами t , мм | $\Sigma (e_1 + e_2)$, мм | Угол α , градус | Угол β , градус | Относительная площадь ребра, мм ² | Вес погонного метра, кг |
|----------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-------------------------|
| 11 | 0,39 | 0,56 | 5,1 | 3,74 | 46 | 62 | 0,055 | 0,293 |
| 22 | 0,6 | 0,57 | 5 | 4,2 | 47 | 56 | 0,056 | 0,292 |
| 33 | 0,47 | 0,45 | 5,1 | 3,18 | 50 | 54 | 0,048 | 0,297 |
| 44 | 0,51 | 0,41 | 5,25 | 3,37 | 53 | 55 | 0,045 | 0,294 |
| 55 | 0,38 | 0,47 | 5,2 | 3,47 | 51 | 51 | 0,048 | 0,292 |
| 66 | 0,45 | 0,44 | 5,2 | 3,17 | 51 | 54 | 0,045 | 0,292 |
| Требования ГОСТ 34028–2016 | Не более 2,2 | Не менее 0,49 | 4,25–5,75 | Не более 5,495 | Не менее 45 | 35–75 | Не менее 0,045 | 0,277–0,296 |

Для исследования равномерности механических свойств по длине бунта (предела текучести) проведены испытания образцов арматуры после снятия неохлажденных витков, после снятия 10 витков и после снятия 20 витков (н – начало, к – конец бунта – по четыре образца) (табл. 7) по методике, описанной в [11].

Таблица 7

Результаты исследования предела текучести арматуры № 7

| Номер образца | Предел текучести R_e , Н/мм ² | | |
|-----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Неохлажденные витки (без обрезки) | 10 витков с начала и конца бухты | 20 витков с начала и конца бухты |
| 1 к / 2 к / 3 к / 4 к | 416 / 418 / 431 / 423 | 428 / 421 / 423 / 427 | 432 / 426 / 427 / 428 |
| 1 н / 2 н / 3 н / 4 н | 405 / 404 / 410 / 406 | 429 / 434 / 427 / 432 | 433 / 428 / 432 / 426 |

Анализ механических свойств образцов показал, что длина концевой обрезки (10 м) позволяет получать арматуру № 7 класса А400С конфигурации формы 4ф с еіпфогсрованным выполнением требований ГОСТ 34028–2016. Увеличение длины обрезки более 10 м не дает существенного улучшения параметров.

В период февраль–апрель 2023 г., после окончания всех работ по усовершенствованию химического состава стали и оптимизации технологического процесса, был подписан акт постановки продукции на производство арматурного проката № 7 класса А400С конфигурации формы 4ф, произведенного по ГОСТ 34028–2016.

В процессе разработки технологии и освоения производства были выполнены исследования по оптимизации химического состава стали для производства непрерывнолитых заготовок; разработке технологического режима двухстадийного точного охлаждения в линии катанки стана 370/150; разработке калибровки валков

чистовых клетей для профиля № 7, позволяющей получить геометрические параметры в соответствии с требованиями ГОСТ 34028–2016; определению длины концевой обрезки, влияющей на равномерность механических свойств по длине бунта.

Выводы

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, а также в горячекатаном состоянии крайне затруднительно. Необходимо также определение оптимального сочетания основных химических элементов в рамках углеродного эквивалента. Опыт освоения арматуры № 6, 8 по новому стандарту показал, что с увеличением номинального диаметра арматуры необходимость в указанных мероприятиях увеличивается.

Холодные концы бунта арматуры имеют механические свойства значительно ниже основной длины. Определение эффективной длины концевой обрезки позволяет повысить механические показатели проката, но увеличивает коэффициент расхода металла.

Наибольшую эффективность поточной термообработки показал режим охлаждения с температурой выхода катанки на виткообразователь на 150 °С ниже A_{c1} (температура виткообразования 580–620 °С) после водяного охлаждения и равномерным воздушным принудительным охлаждением витков интенсивностью 20 % в начале (первые 5 вентиляторов) и последующим произвольным по оставшейся дистанции рольганга Стельмора.

Литература

1. Зайцева, М. В. Стратегия развития производства арматурной проволоки класса 500 в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» / М. В. Зайцева, Э. П. Дрягун // Изв. Тул. гос. ун-та. Техн. науки. – 2020. – № 8. – С. 232–240.
2. 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. Бюл. науч.-техн. и экон. информ. – 2019. – Т. 75, № 5. – С. 593–601. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-5-593-600>
3. Тихонов, И. Н. Оценка эффективности арматурного проката с различными видами периодического профиля поверхности / И. Н. Тихонов // Строит. материалы. – 2013. – № 3. – С. 29–35.
4. Васильков, Д. М. Исследование параметров очага деформации полосы при прокатке в валках 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. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 178–182.
5. Исследование факторов, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали / И. А. Панковец [и др.] // Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. и экон. информ. – 2021. – Т. 77, № 7. – С. 804–810. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-7-804-810>
6. Влияние ванадия на механические и потребительские свойства свариваемой арматурной стали классов прочности А500С и А600С / Д. В. Домов [и др.] // Металлург. – 2015. – № 10. – С. 65–69.

7. Сычков, А. Б. Освоение производства арматурного проката по новому ГОСТ 34028–2016 / А. Б. Сычков, А. В. Дегтярев, М. В. Блохин // Актуал. проблемы соврем. науки, техники и образования. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 30–35.
8. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путеев [и др.] // Литье и металлургия. – 2021. – № 3. – С. 65–73. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>
9. Влияние исходной структуры бунтового проката из подшипниковой марки стали на равномерность получения структуры после сфероидизирующего отжига / С. А. Савченко [и др.] // Черная металлургия. Бюл. науч.-техн. и экон. информ. – 2023. – Т. 79, № 3. – С. 251–260. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2023-3-251-260>
10. Локтионова, Л. В. Опыт использования измерительного прибора ребер типа RM 201 при определении геометрических параметров арматуры периодического профиля / Л. В. Локтионова // Литье и металлургия. – 2018. – № 2 (91). – С. 82–84.
11. Кучков, А. А. Исследование влияния концевой обрезки на механические свойства арматурного профиля № 6 класса А500С / А. А. Кучков // Эффективные инженерные решения : сб. стендовых докл. науч.-практ. конф. студентов, Гомель, 15 мая 2023 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 32.

References

1. Zajceva M. V., Drjagun Je. P. Strategy for the development of production of reinforcing wire of class 500 in the conditions of OJSC “MMK-METIZ”. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2020, no. 8, pp. 232–240 (in Russian).
2. Kvasnikov A. A., Savrasov I. P., Haritonov V. A. Features of the use of reinforcing bars with different periodic profiles according to GOST 34028–2016. *Chernaja metallurgija. Bjul'teten' nauchno-tehnicheskoy I jekonomicheskoy informacii = Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, 2019, vol. 75, no. 5, pp. 593–601 (in Russian). <https://doi.org/10.32339/-0135-5910-2019-5-593-600>
3. Tihonov I. N. Assessing the efficiency of reinforcing bars with various types of periodic surface profiles. *Stroitel'nye materialy*, 2013, no. 3, pp. 29–35 (in Russian).
4. Vasil'kov D. M., Astapenko I. V. 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”. *Issledovanija I razrabotki v oblasti mashinostroyenija, jenergetiki I upravlenija: einforce XVIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov I molodyh uchenyh, 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, Gomel, April 26–27, 2018]. Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, 2018, pp. 178–182 (in Russian).
5. Pankovets I. A., Savchenko S. A., Voznaya V. I., Vereshchagin M. N., Astapenko I. V. Study of factors contributing to the reduction of carbide heterogeneity in bearing steel grades. *Chernaja metallurgija. Bjul'teten' nauchno-tehnicheskoy I jekonomicheskoy informacii = Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, 2021, vol. 77, no. 7, pp. 804–810 (in Russian). <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-7-804-810>
6. Domov D. V., Frantov I. I., Bortsov A. N. The influence of vanadium on the mechanical and consumer properties of welded reinforcing steel of strength classes А500С and

- A600C. *Metallurg*, 2015, no. 10, pp. 65–69 (in Russian).
7. Sychkov A. B., Degtjarev A. V., Blohin M. V. Development of production of reinforcing bars according to the new GOST 34028–2016. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tehniki i obrazovanija*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 30–35 (in Russian).
 8. Puteev V. S., Savchenko S. A., Pankovec I. A., Vozhnaja V. I., Astapenko I. V. Improving the technological process for the production of bearing steel grades on the 370/150 V.S. mill. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 65–73 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>
 9. Savchenko S. A., Kovaleva I. A., Guzova I. A., Suchkov A. B. Influence of the initial structure of rolled coils made of bearing grade steel on the uniformity of the structure obtained after spheroidizing annealing. *Chernaja metallurgija. Bjulleten' nauchno-tehnicheskoy i jekonomicheskoy informacii = Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, 2023, vol. 79, no. 3, pp. 251–260 (in Russian). <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2023-3-251-260>
 10. Loktionova L. V. Experience of using a rib measuring device type RM 201 when determining the geometric parameters of periodic profile reinforcement. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 2 (91), pp. 82–84 (in Russian).
 11. Kuchkov A. A., Astapenko I. V. Study of the influence of end trim on the mechanical properties of reinforcing profile No. 6 class A500C. *Jefferktivnye inzhenernye reshenija: sb. stendovyh dokl. nauch.-prakt. konf. studentov, Gomel', 15 maja 2023 g.* [Effective engineering solutions: collection. poster reports scientific-practical conf. students, Gomel, May 15, 2023]. Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, 2023, p. 32 (in Russian).

Поступила 28.11.2023