

$S, \text{ м}^*$	$Y_{56}, \text{ м}^*$	$\Psi_6, \text{ град. }^*$	$I_s, -^*$	$G_s, \text{ кН}^*$	$F_g, \text{ кН}^*$	$P_g, \text{ МПа}^*$
0,645	1,001	116,363	5,196	72,843	98,009	19,108
0,670	1,063	122,164	5,075	71,189	97,439	18,997

\* $S$  – перемещение поршня гидроцилиндра (обобщенная координата);  $Y_{56}$  – вертикальная координата оси подвеса;  $\Psi_6$  – угол наклона присоединительного треугольника;  $I_s$  – основной коэффициент кинематической передачи;  $G_s$  – грузоподъемность в центре тяжести навесной машины;  $F_g$  – нагрузка приведенная к гидроцилиндру;  $P_g$  – давление в гидроцилиндре.

Из результатов расчета видно, что грузоподъемность ПНУ энергосредства, определенная в центре тяжести комбайна, превышает вес измельчителя и адаптера примерно на 30 %. Таким образом, процесс подъема и перевод КНК-500 в транспортное положение в энергетическом аспекте осуществим.

Угол наклона КНК-500 по отношению к МС-350 во время подъема изменяется незначительно и обеспечивает удовлетворение компоновочных ограничений.

Поскольку на управляемые колеса сельскохозяйственного агрегата с КНК-500 в транспортном положении приходится более 21 % его общего веса, постольку необходимая управляемость сельскохозяйственного агрегата обеспечивается.

#### Литература

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Машиностроение, 1988. – 640 с.
2. Зиновьев, В. А. Курс теории механизмов и машин / В. А. Зиновьев. – М. : Наука, 1975. – 384 с.

УДК 621.771.252

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ АРМАТУРНОГО ПРОФИЛЯ № 6 А500С ПО ГОСТ 34028–2016

А. А. Кучков, Г. А. Слепнев

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

Научный руководитель И. В. Астапенко

*Проведены исследования по разработке технологического процесса производства бунтовой арматурной катанки № 6 на стане 370/150. Разработаны и оптимизированы химический состав и калибровка. Определена величина концевой обреза. Разработан режим двухстадийного охлаждения, позволяющий получить требуемые механические свойства и микроструктуру проката.*

**Ключевые слова:** горячая прокатка, бунтовая арматура, двухстадийное охлаждение, химический состав, катанка.

### DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ROLLING REINFORCING PROFILE № 6 A500S ACCORDING TO GOST 34028–2016

A. A. Kuchkov, G. A. Slepnev

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

Science supervisor I. V. Astapenko

*Research was carried out to develop a technological process for the production of coiled reinforcing wire rod № 6 on mill 370/150. Chemical composition and calibration were developed and optimized. The value of the end cut has been determined. A two-stage cooling mode has been developed, which makes it possible to obtain the required mechanical properties and microstructure of the rolled product.*

**Keywords:** hot rolling, coil reinforcement, two-stage cooling, chemical composition, wire rod.

Цель работы – разработать технологический процесс горячей прокатки арматуры № 6 класса А500С конфигурации формы 2ф по ГОСТ 34028–2016 в условиях линии катанки стана 370/150 ОАО «Белорусский металлургический завод» – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» (далее – ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»).

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- определение и корректировка оптимального химического состава непрерывнолитой заготовки;
- определение оптимального режима двух стадийного охлаждения;
- анализ влияния длины концевой обрезки на механические свойства проката.

Объектом исследования в работе является технологический процесс горячей прокатки арматуры № 6 класса А500С конфигурации формы 2ф (рис. 1) по ГОСТ 34028–2016 [1] в условиях линии катанки стана 370/150 ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК».

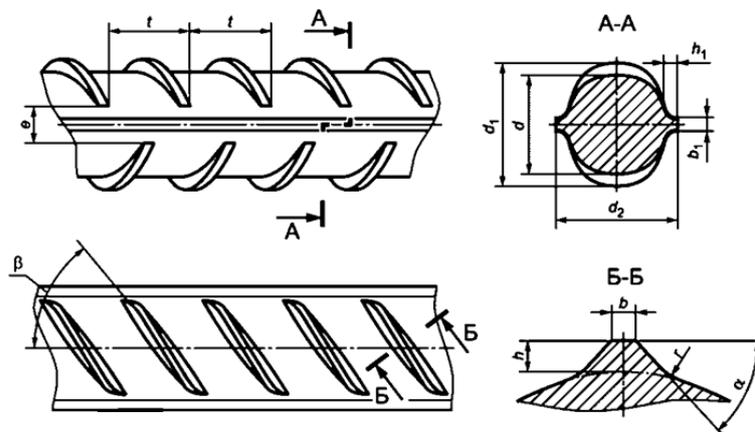


Рис. 1. Конфигурации периодического профиля формы 2ф арматуры № 6 по ГОСТ 34028–2016

Согласно современным тенденциям по увеличению выпуска инновационной продукции, повышению доходности от производимой продукции, а также выходу на новые рынки сбыта на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» была рассмотрена и опробована технологическая возможность производства арматуры периодического профиля номинального диаметра 6 мм класса А500С в бухтах по требованиям ГОСТ 34028–2016 на стане 370/150. Прокатано в общем объеме 3260 кг.

Производство на стане 370/150 СПЦ-2 арматуры периодического профиля № 6 осуществлялось согласно требованиям штатной технологической инструкции по утвержденной таблице калибровки [2, 3]. Под прокатку использовалась исходная заготовка сечением 140 × 140 мм или блюм сечением 250 × 300 мм. При прокатке опытной партии использовался химический состав непрерывнолитых заготовок для производства арматуры № 8 класса А500С.

### 376 Перспективные направления совершенствования материалов и технологий

Полученные значения по пределу текучести находились на нижнем пределе допускаемых значений и не позволяли считать, что предложенные режимы обеспечат гарантированное производство продукции в рамках требований ГОСТ 34028–2016.

Для повышения механических свойств арматуры 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. 1), а также увеличить охлаждение с 20 до 30 % (табл. 2) в соответствии с методикой, изложенной в [4].

Таблица 1

#### Массовая доля элементов в оптимизированном химическом составе, %

Техническая документация	Марка, класс	Номер арматуры	Диапазон	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N	C <sub>экв</sub>		
ГОСТ 34028–2016	A500C	6	Минимум	–	–	–	–	–	Не регламентируется			–	–	0,28 (№ 6)	
			максимум	0,22 (0,24)	0,90 (0,95)	1,60 (1,70)	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)				0,50 (0,55)	0,012 (0,013)	0,50 (0,52)	
Рекомендуемые пределы			Минимум	0,19	0,35	1,17	–	–	–	–	–	–	–	0,43	
			цель	0,215	0,45	1,25	–	–	–	–	–	–	–	–	0,48
			максимум	0,22	0,50	1,30	0,030	0,035	0,29	0,29	0,30	0,012	0,50		

Таблица 2

#### Режимы двухстадийного охлаждения арматуры периодического профиля

Класс	Номер профиля	Скорость прокатки, м/с	Температура после гидросбива, °С	Температура подката и круга, °С		Вентиляторы		Скорость секторов рольганга		Положение крышек роликового транспортера по номерам
				на входе в 10-клетевой блок BGV	в зоне виткообразователя	Номер рабочих вентиляторов	мощность включения, %	скорость, м/с	Номер сектора/%	
A500C	6	46÷55	1020÷1060	900÷940	580±20	2÷6	30	0,45÷0,55	2÷14/+2 15÷18/0 19/(–30) 20/+2	1÷32 (открыты)

В процессе анализа возможных причин низкого значения предела текучести проведены испытания образцов арматуры после снятия неохлажденных витков, после снятия 50 витков и после снятия 70 витков (н – начало, к – конец бухты) (табл. 3).

Таблица 3

#### Результаты исследования предела текучести арматуры № 6

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

Анализ механических свойств проката показал, что длина концевой обрезки (50 м) позволяет получить арматуру № 6 класса А500С конфигурации формы 2ф с гарантированным выполнением требований ГОСТ 34028–2016.

При производстве арматурного проката класса А500С получаемая микроструктура проката представляет из себя 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. 2, а) [5]. Анализ микроструктуры образцов прокатанной арматуры № 6 (рис. 2, б) выявил (несмотря на малый размер сечения) ярко выраженное кольцо мартенсита отпуска шириной 0,3–0,5 мм, что также свидетельствует о высоком качестве термоупрочнения.

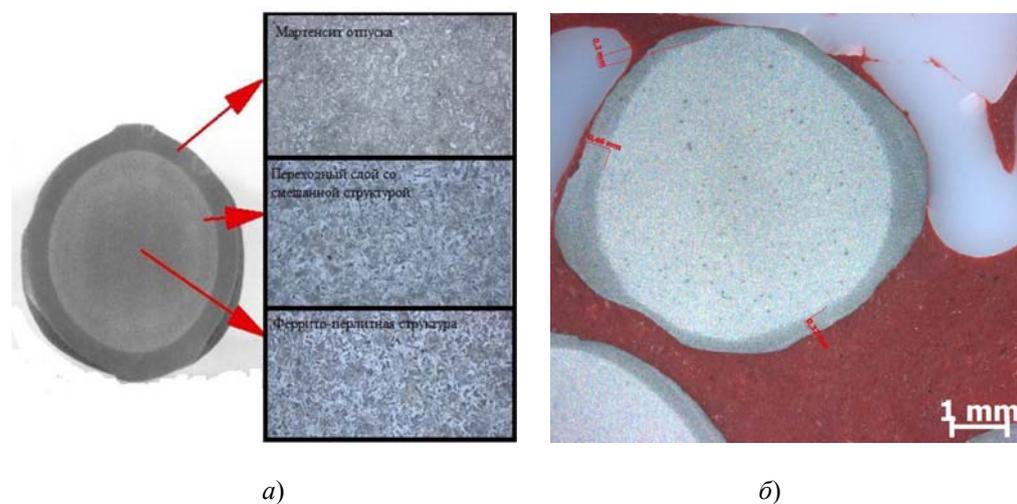


Рис. 2. Квазикомпозитная структура термоупрочненного проката класса А500С: а – схема распределения слоев; б – микроструктура полученной арматуры № 6

В период с 26 сентября по 30 сентября 2022 г. на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» был произведен прокат заготовок (28 штук) с оптимизированным химическим составом и двухстадийным охлаждением. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4

#### Механические свойства проката по оптимизированному варианту

Плавка	Предел текучести Re, Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности Rm, Н/мм <sup>2</sup>	Пластичность, Rm/Re
Средние значения	568,8	735,1	1,295
Требования ГОСТ 34028–2016	не менее 500	не менее 600	не менее 1,05

В конце февраля 2023 г. после окончания всех работ по усовершенствованию и оптимизации технологического процесса был подписан акт постановки продукции на производство. На конференции Ассоциации литейщиков и металлургов Беларуси коллектив авторов за разработку и освоение производства арматуры № 6 по ГОСТ 34028–2016 был удостоен премии Лауреата АЛМ РБ.

Литература

1. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 34028–2016. – Введ. 01.01.2019. – М. : Федерал. агенство по техн. регулированию. – М., 2019. – 47 с.
2. 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, 2018. – С. 178–182.
3. Астапенко, И. В. Оборудование прокатных цехов : практикум / И. В. Астапенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 47 с.
4. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путьев [и др.] // Литье и металлургия. – 2021. – № 3. – С. 65–73. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>
5. Сычков, А. Б. Освоение производства арматурного проката по новому ГОСТ 34028-2016 / А. Б. Сычков, М. В. Блохин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тез. докл. 77-й Междунар. науч.-техн. конф., Магнитогорск, 22–26 апр. 2019 г. / Магнитог. гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2019. – Т. 1. – С. 179.

УДК 621.771.252

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ  
КАТАНКИ МЕТОДОМ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ ТЕМПЕРАТУР  
ПО КОНТРОЛЬНЫМ ТОЧКАМ**

**Г. А. Слепнев**

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

Научный руководитель И. В. Астапенко

*Проведены исследования изменения температуры проката в зависимости от подачи воздуха вентилятором № 1 рольганга-холодильника линии катанки стана 370/150. Построены диаграммы по контрольным точкам и определены математические зависимости для определения изменения температуры витков катанки в зоне вентилятора № 1.*

**Ключевые слова:** двухстадийное охлаждение, рольганг-холодильник, катанка, горячая прокатка, шарикоподшипниковая сталь.

**DETERMINATION OF THE DYNAMICS OF AIR COOLING  
OF WIRE ROD BY CONSTRUCTING TEMPERATURE DIAGRAMS  
AT CONTROL POINTS**

**G. A. Slepnev**

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

Science supervisor I. V. Astapenko

*Research was carried out on the change in the temperature of rolled products depending on the air supply by fan N 1 of the roller table-cooler of the wire rod line of the 370/150 mill. Diagrams were constructed for control points and mathematical dependencies were determined to determine the change in the temperature of the coils of wire rod in the zone of fan N 1.*

**Keywords:** two-stage cooling, roller-cooling table, wire rod, hot rolling, ball-bearing steel.