

УДК 669.14.018.291.3:621.771.25

В.В.Парусов, В.Г.Черниченко, О.В.Парусов, В.А.Кекух, В.А.Щур

**ПРОИЗВОДСТВО АРМАТУРНОГО ПРОКАТА В МОТКАХ КЛАССОВ
А400С–А500С НА СОРТОВОЙ ЛИНИИ МПС 250/150–6
ОАО «АРСЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ»**

*Институт черной металлургии НАН Украины
ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»*

Рассмотрена разработка технологии производства арматурного проката в мотках классов А400С–А500С на мелкосортной линии стана 250/150–6. В качестве базовой стали для производства арматурного проката в мотках классов А400–А500С реализована сталь 3пс, в которую согласно СТИ 228–101–2003 дополнительно могут вводиться добавки марганца, титана и бора.

Постановка задачи. Успехи, достигнутые в металлургической промышленности за последние годы, позволяют существенно расширить возможность использования углеродистых сталей для производства арматурного проката класса А400С–А500С, в том числе и в мотках, применяемого в мировой практике для монолитно–каркасного строительства. Для реализации в условиях Украины мирового опыта по монолитно–каркасному строительству на отечественных металлургических предприятиях необходимо освоить производство арматурного проката диаметром 6–16 мм классов А400С–А500С в мотках массой ~2000 кг в соответствии с требованиями ДСТУ 3760, EN 10080 и других зарубежных стандартов [1].

Повышение конкурентоспособности металлопродукции на внешних рынках, удовлетворение потребностей строительной индустрии требует внедрения ресурсосберегающих технологий. Поэтому, учитывая опыт отечественных и зарубежных производителей, а также, с целью снижения себестоимости и повышения потребительских свойств арматуры, на металлургических предприятиях производят или уже произвели реконструкцию охлаждающих устройств на прокатных станах [2–3].

Изложение основных материалов исследования. На мелкосортно–проволочном стане 250/150–6 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» провели реконструкцию и ввели в эксплуатацию линию ускоренного охлаждения сортовой части.

Реконструкция была выполнена по техническому заданию меткомбината с учетом научно–технических и конструкторских разработок Института черной металлургии НАНУ.

Основные технические и технологические требования к установке ускоренного охлаждения следующие:

– установка ускоренного охлаждения предназначена для гидромеханического упрочнения периодических профилей № 13–25 классов А400С–А500С из сталей марок 35ГС, Ст5пс, 25Г2С, а также ускоренного охлаждения круглых и шестигранных профилей $\varnothing 13\div 32$ мм из конструкционных углеродистых и низколегированных марок сталей: Ст08кп, $10\div 20$ кп, $10\div 55$ сп, 23Г2А, 26ХГА, 20Х \div 45Х, А12, А20 и других;

– установка должна быть привязана к существующим трем сортам моталкам, насосам высокого давления без реконструкции трубной разводки в коллекторной (используются при работе линии по производству кантанки);

– температура раската на входе в установку $1050\div 950^{\circ}\text{C}$, на выходе из установки $900\div 500^{\circ}\text{C}$;

– установка должна иметь потенциальную возможность переохладить прокат до температуры 400°C ;

– гидромеханическое упрочнение и ускоренное охлаждение на установке должно осуществляться за счет прямоточного (в основном) истечение воды из форсунок без снижения производительности стана.

Профиль	Скорость прокатки	
	установленная	минимально возможная
$\varnothing 13\text{--}21$ –	18 м/сек	14,5 м/сек
$\varnothing 22\text{--}26$ –	15 м/сек	12 м/сек
$\varnothing 38\text{--}33$ –	10 м/сек	9 м/сек

Институтом черной металлургии были разработаны чертежи модернизированных линий ускоренного охлаждения проката, которые удобны в настройке и эксплуатации, а параметры охлаждения не зависят от числа работающих линий.

Реконструированный участок ускоренного охлаждения сортового проката состоит из трех линий ускоренного охлаждения (ЛУО), в каждой из которых используется по 4 блока (рис.1).

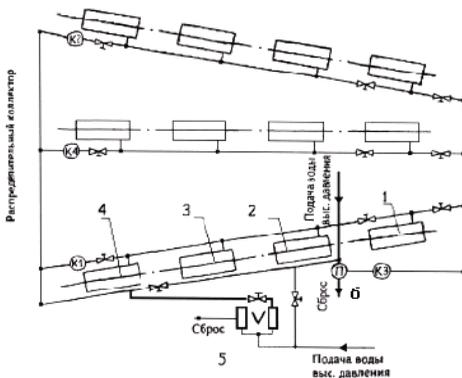


Рис.1. Участок ускоренного сортового проката МПС 250/150–6. Схема подачи и сброса воды: 1, 2, 3, 4 – номера секций охлаждения на первой линии охлаждения; 5 – многоходовой клапан; 6 – двухходовой клапан; К1 – К4 – клапаны

Характеристики линий ускоренного охлаждения приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика линий ускоренного охлаждения

	I блок	II блок	III блок	IV блок
Длина блока, м	4,2	6,8	6,8	6,8
Расстояния между блоками, м	5,7 ¹⁾	5,7	5,7	
Расстояние от начала блока до начала первой камеры охлаждения, м	1,1			
Внутренний диаметр камеры охлаждения, мм	45(60x7,5)			
Длина камеры (камер) охлаждения, м	1,50	1,5 + 2,56		1,50
Внутренний диаметр распределительной камеры, м	58(68x5)			
Длина распределительной камеры, м	0,875			
Длина зоны активного охлаждения, м	2,4	4,9		2,4

Примечание: ¹⁾ Расстояние между I и II блоками IV нитки 3,92 м.

В каждом отдельном блоке ЛУО (рис.2) последовательно расположены узел сброса противотока 1, форсунка 2, камера охлаждения 3, распределительная камера–отсечка (узел сброса отработанной воды) 4 и воздушная противоточная отсечка 5.

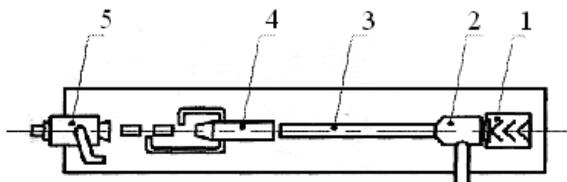


Рис. 2 Схема одной секции ЛУО

Основными международными и национальными стандартами (EN 10080; BS 4449; DIN 488; ДСТУ 3760) предусмотрено ограничение верхнего предела углеродного эквивалента на уровне 0,51–0,52%. В горячекатаном состоянии стали с указанным углеродным эквивалентом соответствуют классу А240С–А300С. Для получения на ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» арматуры классов А400С – А500С в мотках необходимо на реконструированном участке ускоренного охлаждения разработать и освоить технологию термомеханической обработки из полуспокойной стали, с содержанием углерода до 0,25%. Использование спокойных сталей взамен полуспокойных, в условиях отсутствия на меткомбинате МНЛЗ, и низколегированных сталей – дискретное увеличение стоимости продукции.

Проведенные ранее эксперименты по охлаждению сортового проката диам. 14 мм из стали Ст3пс, Ст5пс и 23ХГА (температура смотки 740, 755 и 735⁰С соответственно) показали, что прокат из стали Ст3пс и Ст5пс не отвечает требованиям класса А400 по механическим характеристикам, а прокат из стали 23ХГА практически соответствует классу А400.

Для гарантированного получения арматуры класса А400С и А500С из стали 23ХГА, Ст3пс и 35ГСм Институт черной металлургии совместно с меткомбинатом выполнили следующие мероприятия по стану 250/150–6.

1. Нагрев заготовок в печи стана 250/150 был следующим:

Температура в печи по зонам, ⁰ С				
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
600	1070	1230	1240	1190

2. Температура раската за 1–ой клетью стана составляла 1096–1070⁰С.

3. Скорость прокатки соответствовала 14 м/с.

В ходе освоения технологии термомеханического упрочнения арматурной стали, с целью определения ее механических свойств и характера микроструктуры, варьировали интенсивность охлаждения до разных температур самоотпуска, изменяя расход и давление воды в подводящем коллекторе. При этом от опытных партий отбирали пробы по длине мотка.

Результаты механических испытаний бунтового арматурного проката из стали 3пс и 35ГСм приведены на рис.3–4.

Наилучшие результаты по уровню механических свойств получены у проката из стали марки 35ГСм. Значения предела текучести арматурного проката диаметром 16 мм в среднем составляли 413,9 Н/мм² для класса А400С и 549,2 Н/мм² для класса А500С. Обращает внимание высокий уровень относительного удлинения, среднее значение которого превышает 22% у арматуры из стали 35ГСм, что свидетельствует об определенном запасе пластичности термомеханически упрочненного проката. Достигнутый уровень механических свойств арматурного проката опытных партий превышает требования к арматуре класса А400С (по ДСТУ 3760–98), по пластическим свойствам. Значительный запас пластических свойств позволяет повысить условный предел текучести.

Проведенные исследования микроструктуры показали, что в поверхностных слоях проката диам. 14 мм из всех сталей в результате охлаждения происходит образование структур мартенситного типа. Кинетика превращения аустенита в центральных слоях имеет свою специфику, определяемую особенностями охлаждения проката: интенсивное охлаждение его при прохождении через охлаждающее устройство и замедленное – при последующем охлаждении на воздухе.

При анализе микроструктуры арматурного проката диаметром 14 и 16 мм показано, что в исследованных сталях с понижением температуры ускоренного охлаждения от 740 до 480⁰С изменяется механизм превращения аустенита от диффузионного.

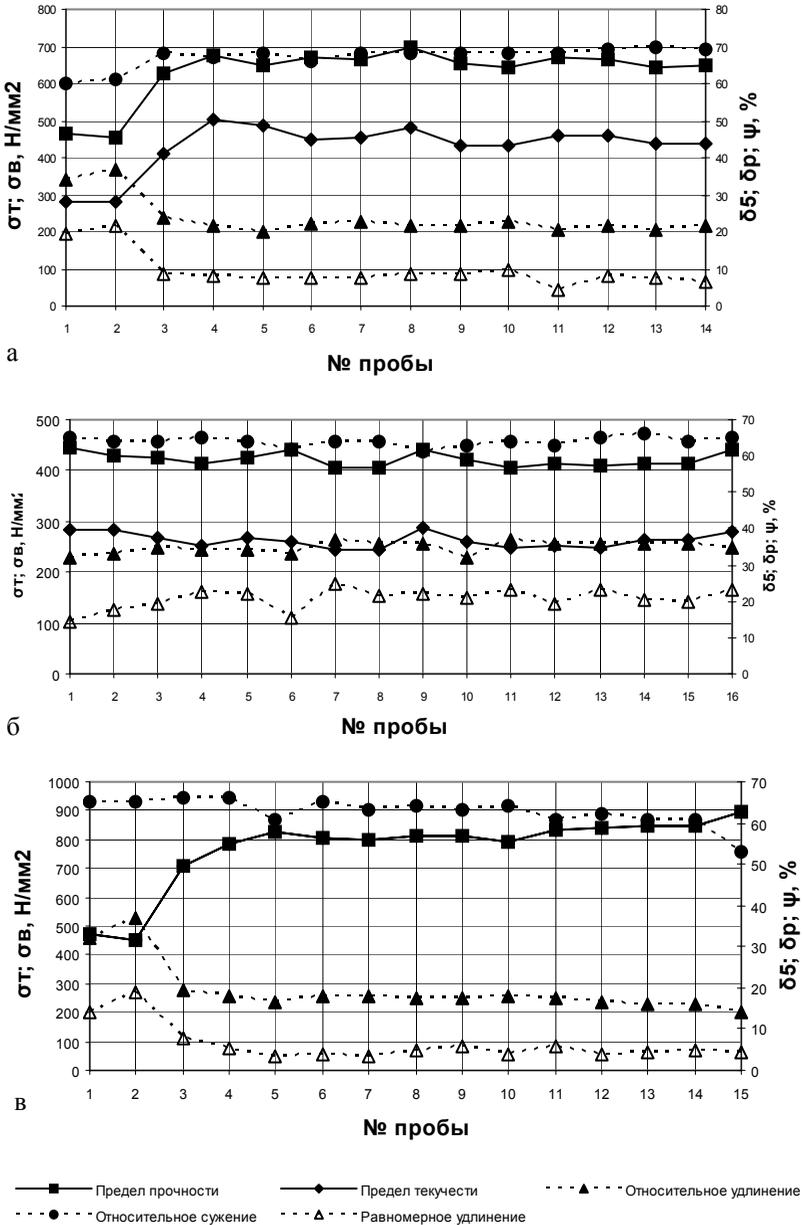


Рис.3. Сталь 3пс, температура смотки проката: а) диаметр 14 мм – 740⁰С, отбор проб – через 20 витков; б) диаметр 16 мм – 560⁰С, отбор проб – через 15–20 витков; в) диаметр 16 мм – 480⁰С, отбор проб – через 15–20 витков.

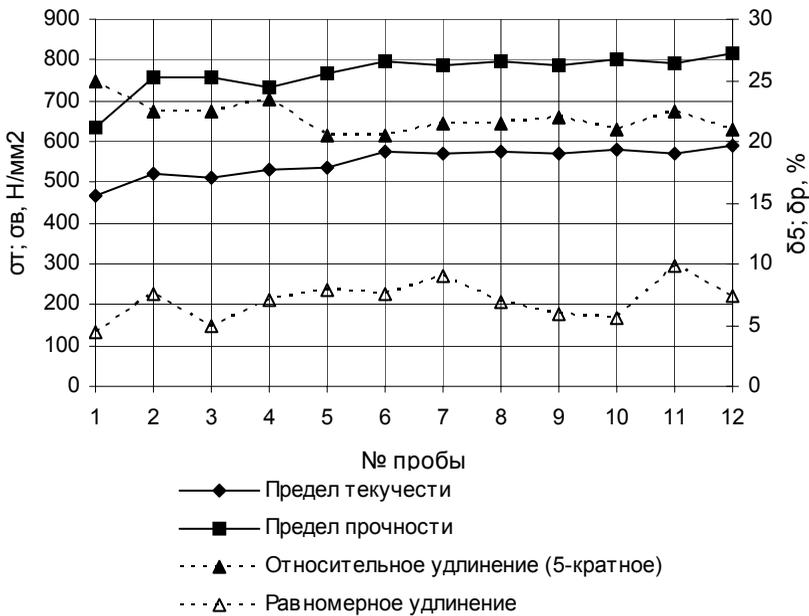
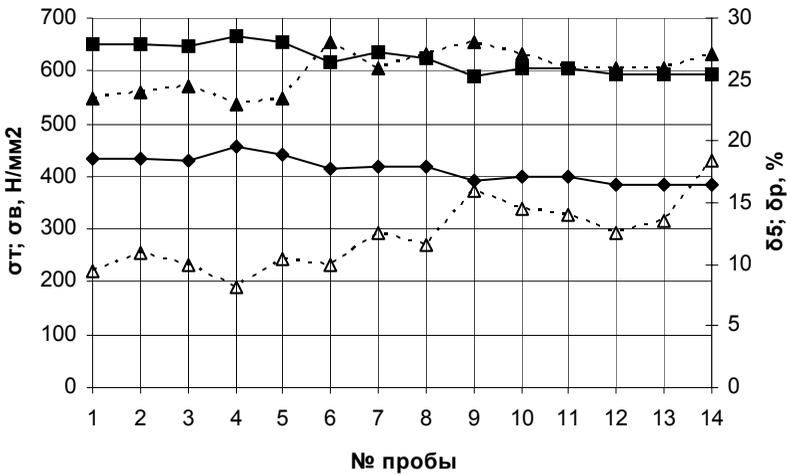
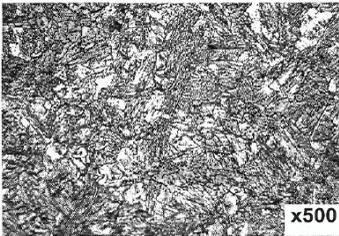


Рис. 4. Сталь 35ГСм, температура смотки проката диаметром 16 мм: а) 680⁰С, отбор проб – через 15 витков; б) 600⁰С, отбор проб – через 15–20 витков.

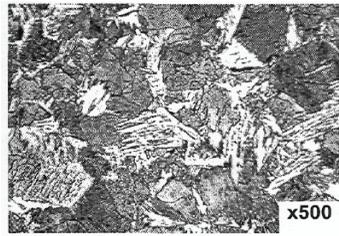
Для диффузионного превращения характерно образование феррита и перлита до промежуточного (диффузионно-сдвигового) с образованием бейнитных структур (рис.5–6).

Таблица 2. Зависимость температуры смотки проката диаметром 14 и 16 мм из различных марок стали от давления воды в подводящем коллекторе

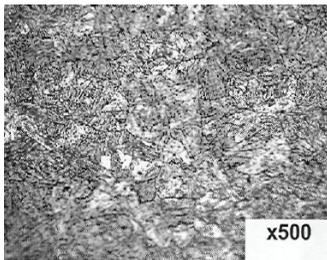
Марка стали	Диаметр проката, мм	Давление воды в коллекторе, МПа	Температура смотки	Примечание
Ст3пс	14	–	740	1–я линия охлаждения с реконструкцией форсунок
	16	0,40	560	
	16	1,10	480	
Ст5пс	14	–	755	
23ХГА	14	–	730	3–я линия охлаждения без реконструкции форсунок
	16	0,95	660	1–я линия охлаждения с реконструкцией форсунок
	16	0,40	610	
	16	0,32	680	



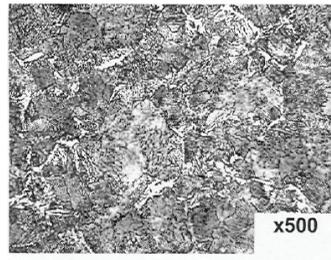
а



б



в



г

Рис.5. Микроструктура арматурного проката из стали Ст3пс, смотанного в мотки при температуре 560⁰С (а, б) и 480⁰С (в, г): а, б, в,г – середина мотка; а, в – структура металла в поверхностной зоне (ободке); б, г – структура металла на ½ размера проката

Вследствие того, что, при прерванной или прерывистой закалке центральные слои проката имеет более высокую температуру, чем поверхно-

стные, в последних в той или иной степени развиваются процессы отпуска (самоотпуска). В результате этого высокая прочность и твердость поверхностных слоев, имеющих мартенситную структуру, снижается. Последовательно расположенные по сечению проката слои металла со структурой отпущенного мартенсита (поверхность) и феррито–перлитной или бейнитной структурой (сердцевина) позволяют обеспечить требуемые НТД показатели механических и технологических свойств арматурного проката. Анализ технологии упрочнения показал, что на существующей установке охлаждения есть резерв снижения температуры принудительного охлаждения, гарантирующий стабильный уровень прочностных свойств арматурного проката.

Опытная прокатка круглого профиля диаметром 14 и 16 мм из стали СтЗпс, 35ГСм и 23ХГА на модернизированной 1-й линии охлаждения (с реконструкцией выходных конусов форсунок), которая проводилась с изменением давления и расхода охлаждающей воды, показала техническую возможность производства арматуры классов А400С и А500С из указанных сталей.

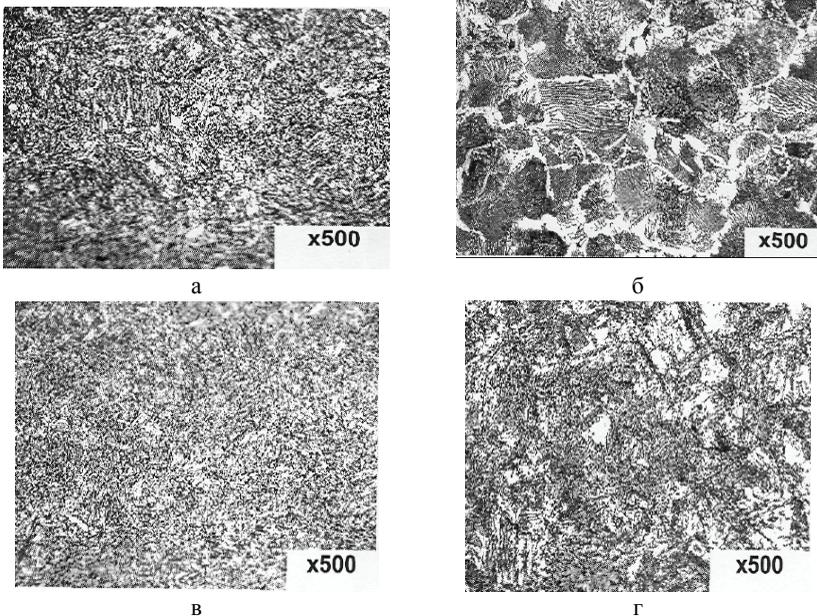


Рис. 6. Микроструктура арматурного проката из стали 35ГСм, смотанного в мотки при температуре 680⁰С (а,б) и 600⁰С (в,г): а, б,в,г – начало мотки; а, в – структура металла в поверхностной зоне (ободке); б, г – структура металла на ½ размера проката

На заключительном этапе работы были выпущены и исследованы опытно–промышленные партии арматурного проката периодического

профиля (№14) из стали СтЗпс, 25Г2Схр и 35ГСм, соответствующего классам прочности А400С–А500С, рис.7.



Рис.7. Внешний вид арматурного проката №14 из стали 35ГСм, термомеханически упрочненного на класс А500С.

Химический состав стали, режимы охлаждения опытно–промышленных партий арматурного проката и его механические

свойства приведены соответственно в таблицах 3–5.

Макроструктура опытно–промышленного металла приведена на рис.8. Наружный ободок на макроструктуре соответствует металлу, который претерпевает при термомеханической обработке закалку и отпуск, а центральная зона соответствует квазиизотермическому превращению аустенита, которое происходит при замедленном охлаждении мотков на воздухе от температуры их смотки [4].

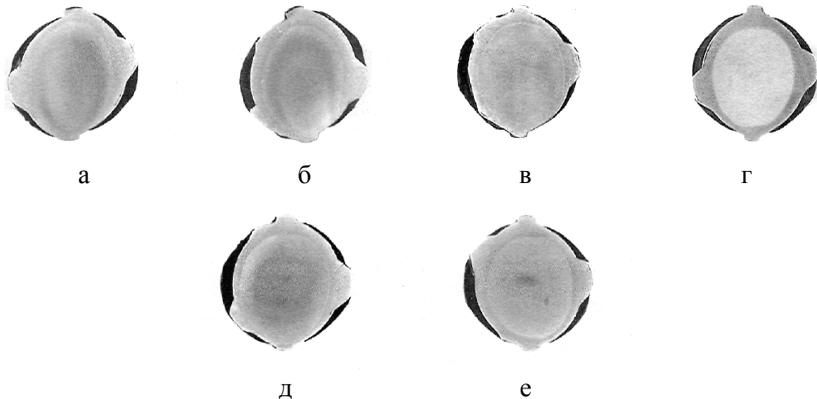


Рис.8. Макроструктура металла арматурного проката периодического профиля диам.14 мм: а, б – сталь 3ГТРпс; в, г – сталь 25Г2Схр; д, е – сталь 35ГСм.

Микроструктура поверхностных, переходных и центральных зон арматурного проката приведена на рис.10–12. Анализ макро– и микроструктуры подтверждает ранее полученные закономерности, а по соотношению толщин слоев металла со структурой закалка + отпуск (ободок) и бейнито–мартенситной структурой (центральная зона) можно судить о температуре смотки в мотки арматурного проката [5].

Таблица 3. Химический состав опытно-промышленных плавок для производства бунтовой арматуры № 14

Марка стали	Химический состав стали, %													Углеродный эквивалент, C _э	НТД			
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Mo	V	N ₂			B	As	
Ст3ГТР пс	0,23	0,13	0,73	0,04	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,366*	ГОСТ 380-94
35ГСм	0,36	0,06	1,10	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	–	–	0,07	0,00	0,00	0,00	0,55* 0,51**	ТУ У 322-4-393-96 ГОСТ 5781
25Г2Сх р	0,27	0,30	1,38	0,02	0,01	0,16	0,02	0,02	0,06	0,00	–	–	0,07	0,01	0,00	0,00	0,53* 0,49**	ТУ У 322-4-393-96 ГОСТ 5781
25Г2СС хр	0,25	0,31	1,34	0,01	0,01	0,18	0,02	0,02	0,09	0,00	–	–	0,06	0,00	0,00	0,00	0,51* 0,46**	ТУ У 322-4-393-96 ГОСТ 5781

$$*C_s = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V + Mo}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \leq 0,52$$

$$**C_s = C + \frac{Mn}{8} + \frac{Si}{7} \leq 0,52$$

Полученные результаты позволяют утверждать, что прочностные и пластические свойства термомеханически упрочненного на классы А400С и А500С арматурного проката имеют высокую однородность по длине мотка (за исключением горячекатаного переднего конца – до 30 витков и охлажденного заднего конца – до 15 витков). Это объясняется плотной намоткой мотков и охлаждением их как компактного металла в квазиизотермических условиях.

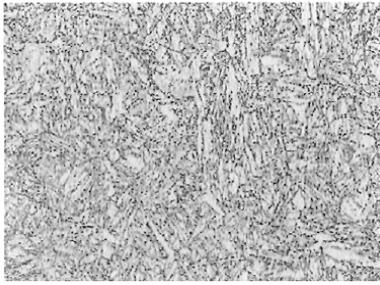
Таблица 4. Режимы охлаждения арматурного проката № 14 при скорости прокатки 14,5 м/с

Марка стали	Давление воды в коллекторе, МПа (кгс/см ²)	Температура смотки мотков, °С
Ст3ГТРпс	0,4 (4)	638
	0,4 (4)	600
35ГСм	0,7 (7)	585
25Г2Схр	0,7 (7)	565
	0,7 (7)	559

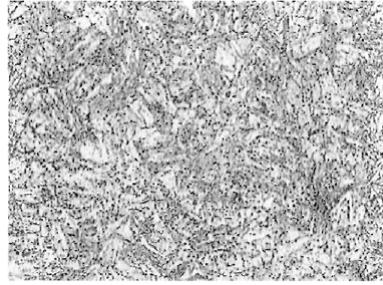
Таблица 5. Зависимость механических свойств арматурного проката №14 от температуры смотки в мотки

Марка стали	Температура смотки, °С	Предел текучести, σ_t , Н/мм ²	Времен. сопротивление, σ_b , Н/мм ²	Относит. удлинение, δ_5 , %	Место отбора проб, кол-во витков, шт
Ст3ГТРпс	630	405	530	23,5	Передн. к-ц – 45 витк. задн. к-ц – 15 витк.
	600	420	565	27,0	Передн. к-ц – 60 витк. задн. к-ц – 15 витк.
35ГСм	585	425	680	20,5	Передн. к-ц – 50 витк. задн. к-ц – 15 витк.
	585	560	820	15,5	Передн. к-ц – 50 витк. задн. к-ц – 15 витк.
25Г2Схр	565	440	665	16,0	Передн. к-ц – 40 витк. задн. к-ц – 15 витк.
	559	475	660	14,0	Передн. к-ц – 50 витк. задн. к-ц – 15 витк.
Требования ДСТУ 3760	А400С	≥400	≥500	≥16	
	А500С	≥500	≥600	≥14	

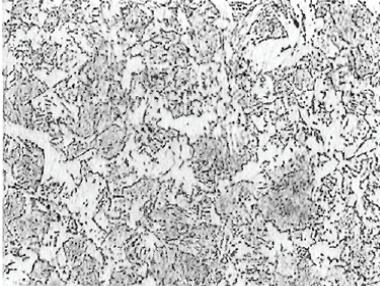
Анализ результатов работы показал, что в качестве базовой стали для производства арматурного проката в мотках классов А400С–А500С на ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» рекомендована сталь Ст3пс, в которую согласно СТИ 228–101–2003 дополнительно могут вводиться добавки марганца, титана и бора.



а



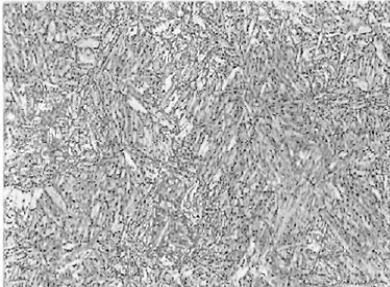
б



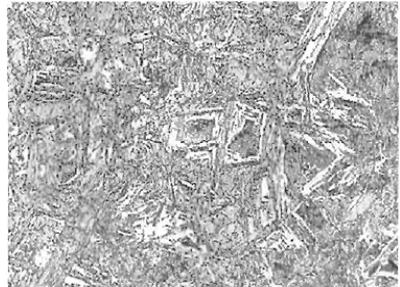
в

Рис.10. Микроструктура (x500) арматурного проката №14 из стали марки 3ГТРпс

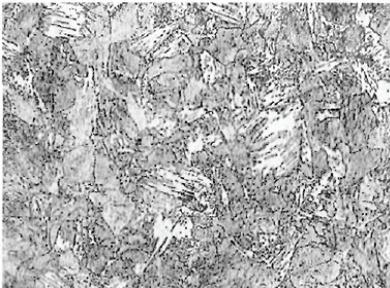
а – в закаленном и отпущенном ободке;
б – в переходной зоне; в – на $\frac{1}{2}$ радиуса профиля



а



б



в

Рис.11 Микроструктура (x500) арматурного проката №14 из стали марки 25Г2Схр

а – в закаленном и отпущенном ободке;
б – в переходной зоне; в – на $\frac{1}{2}$ радиуса профиля

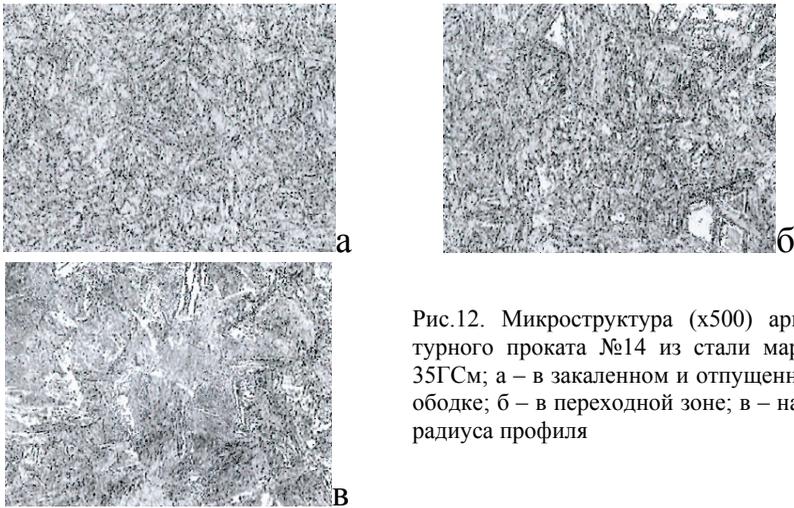


Рис.12. Микроструктура (x500) арматурного проката №14 из стали марки 35ГСм; а – в закаленном и отпущенном ободке; б – в переходной зоне; в – на $\frac{1}{2}$ радиуса профиля

Заключение. По научно–техническим и конструкторским разработкам ИЧМ НАНУ, выполненным по техническому заданию меткомбината произведена реконструкция установки ускоренного охлаждения проката на сортовой части МПС 250/150–6.

Выпущены опытно–промышленные партии арматурного проката №14 классов А400С (сталь Ст3ГТРпс и 25Г2Схр) и А500С (35ГСм).

Прочностные и пластические характеристики арматурного проката указанных классов соответствуют требованиям ДСТУ 3760–98.

Разработано изменение к технологической инструкции ТИ 228–ПЗ–01–2003, касающееся технологических режимов термомеханической обработки арматурного проката №14 и №16 на классы А400С–А500С на сортовой линии стана 250/150–6.

1. *Выбор* стали и режима термомеханической обработки арматурного проката поставляемого в мотках. / В.В. Парусов, В.А. Шеремет, А.В. Кекух и др. // *Сталь*. – 2004. – № 6. – С.87–89.
2. *Дубровский Б.А.* ММК: курс повышения устойчивости./ *Металл–Курьер*. – 2006. – № 14. – С. 3–6.
3. *Контролируемая* прокатка длинномерной продукции: современное состояние. / Р. Эль, М. Крузе, Р. Оклиц и др. // *Черные металлы*. – 2006. – Октябрь. – С. 60–65.
4. *Управляемое* термическое упрочнение проката / И.Г. Узлов, В.В. Парусов, Р.В. Гвоздев и др. – Киев: Техника. – 1989. – 118 с.
5. *Парусов В.В., Гвоздев Р.В.* Управление процессами прерванной закалки по количеству мартенситной фазы. // *Сталь*. – 1975. – № 10. – С.932–933.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук, проф. Г.В.Левченко