

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ НИОБИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ АРМАТУРЫ

А. И. Пости

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

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Одним из наиболее эффективных микролегирующих элементов при производстве арматуры класса 500 является ванадий. Технология производства этой арматуры

является многостадийной и затратной, поэтому применение феррованадия делает производство ванадийсодержащей арматуры массового назначения нерентабельной. В связи с этим необходимо снижение себестоимости готовой продукции за счет замены феррованадия на феррониобий с сохранением всех механических, физических и эксплуатационных характеристик металла арматуры.

Цель работы: определить влияние количественного содержания ниобия в стали при различных температурно-скоростных параметрах прокатки в производстве горячекатаной арматуры S-500WC в бухтах на стане 370/150 ОАО «БМЗ» в соответствии с требованиями израильского стандарта SI 4466-3:2013.

Нормируемыми показателями механических свойств арматурной стали S-500WC всех профилей (№ 8–16) в соответствии с требованиями израильского стандарта SI 4466-3:2013 являются: предел текучести $R_e = 500–650$ МПа, пластичность $R_m/R_e = 1,15–1,35$, относительное удлинение A_{10} не менее 11 % и A_{gt} не менее 7,5 %.

Освоение технологии производства арматуры S-500WC в бухтах четырехстороннего периодического профиля происходило на трех плавках с различным содержанием ниобия (табл. 1).

Таблица 1

Содержание ниобия и углеродного эквивалента в разливочной пробе

Номер плавки	Содержание ниобия, %	Углеродный эквивалент
1	0,0594	0,515
2	0,0282	0,448
3	0,0241	0,422

Температура поверхности непрерывно литых заготовок сечением 140×140 мм после нагрева в проходной нагревательной печи стана 370/150 и последующем прохождении гидросбива перед задачей в первую прокатную клеть составляла 1080 ± 20 °С.

На рис. 1 представлена зависимость механических свойств арматуры S-500WC плавки № 1 микролегированной ниобием, от температуры самоотпуска в зоне виткообразователя. Выводы по рис. 1:

– при каждой последующей прокатке увеличивалась температура в зоне виткообразователя (температура самоотпуска);

– можно отметить, что до температуры 730 °С на виткообразователе стабильно имеем предел текучести выше 500 МПа. При увеличении этой температуры значение предела текучести снижается и увеличивается пластичность металла;

– во всех случаях прокатки эстафетных заготовок значение пластичности металла превышает требуемые (1,15–1,35) ввиду высокой прочности, данная ситуация объясняется химическим составом стали;

– во всех случаях производства арматуры № 8–14 при механических испытаниях образцов зафиксированы несоответствия A_{gt} , при норме не менее 7,5 %, большинство значений ниже или находятся на минимально допустимом уровне.

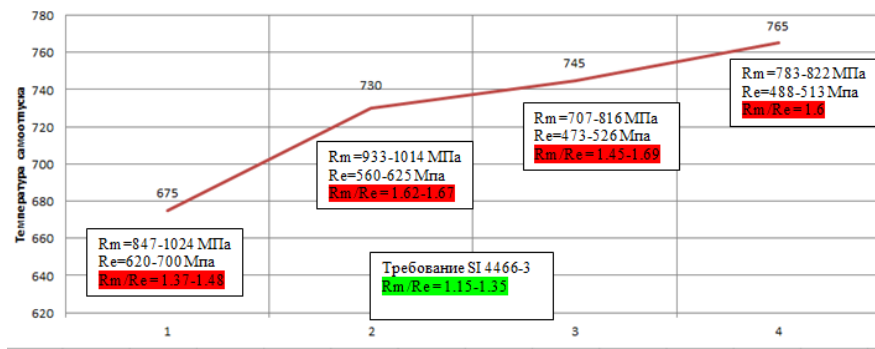


Рис. 1. Зависимость механических свойств арматуры S-500WC от температуры самоотпуска (в зоне виткообразователя): 1, 2 – № 8; 3 – № 10; 4 – № 14

Ввиду неполучения требуемых механических свойств в соответствии с требованиями израильского стандарта SI 4466-3:2013 на плавке № 1 было принято решение провести эстафетную прокатку плавки № 2 (температурно-скоростные параметры производства представлены на рис. 2) со скорректированным химическим составом по количественному содержанию ниобия и углеродному эквиваленту (табл. 1).

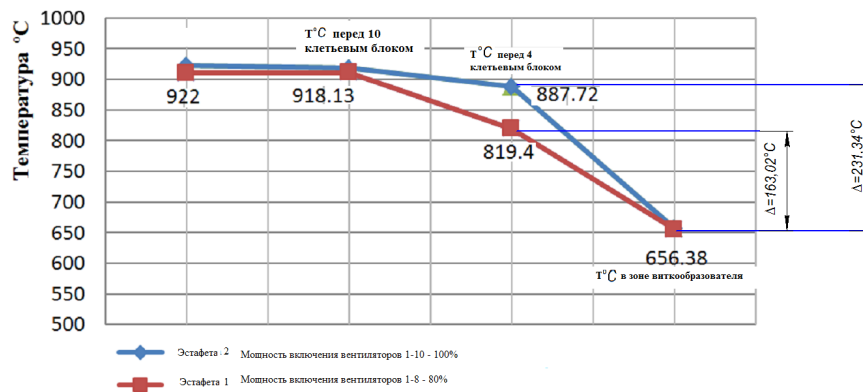


Рис. 2. Температурный режим производства арматурного проката № 8 марки стали S-500WC плавки № 2

По результатам эстафеты № 1 были получены несоответствующие значения механических свойств в соответствии с требованиями израильского стандарта SI 4466-3:2013, а именно отношение прочности к текучести R_m/R_e (при норме 1,15–1,35 фактически 1,36–1,43), остальные значения соответствовали стандарту. Данное несоответствие объясняется высокими значениями предела прочности $R_m = 711-736$ МПа.

С целью увеличения предела текучести для соответствия стандарту по механическим свойствам (показатель пластичности R_m/R_e) была проведена вторая эстафета, в которой был увеличен градиент между температурой перед ТМВ и температурой самоотпуска в зоне виткообразователя. Режимы двухстадийного охлаждения арматуры эстафеты № 2 представлены на рис. 2. Как видно из рис. 2, температурный градиент увеличился на $68,32^\circ\text{C}$. Положительных результатов также достигнуто не было.

После проката эстафет двух плавки № 1 и 2 и проанализировав полученные результаты механических испытаний, которые не соответствуют требованиям израильского стандарта, было принято решение скорректировать химический состав стали в сторону уменьшения легирующих элементов, которые коренным образом сказыв-

ваются на механических свойствах стали, а именно снижено целевое содержание Nb и углеродного эквивалента (плавка № 3 из табл. 1). Температурно-скоростные параметры производства плавки № 3 представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Режимы двухстадийного охлаждения арматуры № 12, 14, 16
марки стали S-500WC**

Время нагрева, ч : м : с	Скорость проката, м/с	Температура после г/с	Температура QТВ1	Температура перед FFB	Температура перед ТМВ	Температура в зоне в/о	Вентиляторы 1–14
2,5–3,5 ч	26,2	1110–1115	970	880	790–810	630–645	100 %
	19,7		980	870			
	17,4		980	930			

Все результаты механических испытаний после производства плавки № 3 табл. 1 по температурно-скоростным параметрам табл. 2 соответствуют требованиям изральского стандарта SI 4466-3:2013.

Также необходимо отметить, что для достижения требуемых температур в зоне виткообразователя при производстве арматуры S-500WC, микролегированной ниобием, температура деформации металла в ТМВ находится в зоне минимально допустимой, т. е. нагрузка и износ прокатного инструмента двухмодульного блока ТМВ гораздо значительнее в сравнении с производством арматуры S-500WC, микролегированной ванадием при данных температурно-скоростных параметрах.

Таблица 3

**Сравнительный анализ двух технологических режимов
производства арматуры S-500WC, микролегированной Nb и V**

Номер профиля	Элемент микролегирования	Линейная скорость конца прокатки, м/с	Средняя производительность на профиле, т/ч	Температура самоотпуска, °С	Расход воды, м ³ /ч
№ 8	Ванадий (V)	59,2	80	680–700	160
	Ниобий (Nb)	51,9	≈70	620–640	180
№ 10	Ванадий (V)	52	98	680–700	200
	Ниобий (Nb)	45	≈85	620–640	210
№ 12	Ванадий (V)	37,4	100	680–700	180
	Ниобий (Nb)	26,2	≈70	620–640	220
№ 14	Ванадий (V)	29	105	680–690	225
	Ниобий (Nb)	19	≈70	620–640	230
№ 16	Ванадий (V)	22,3	104	670–690	235
	Ниобий (Nb)	17,4	≈81	620–640	250

Заключение. Разработан химический состав стали, позволяющий получить механические свойства арматуры S-500WC в соответствии с SI 4466-3.

На основе данного химического состава разработаны температурно-скоростные параметры производства арматуры S-500WC № 8, 12, 14, 16, микролегированной ниобием.

Выявлены основные факторы, влияющие на механические свойства арматуры S-500WC, микролегированной ниобием, такие как температура конечной деформации, способ водяного распределения и охлаждения в водяных камерах, температура самоотпуска. Установлены существенные различия в технологическом процессе производства арматуры, микролегированной ниобием и ванадием.