

этих систем.

Список литературы

1. Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. М.: Физ-матлит. 2007.
2. Chilali M., Gahinet P. H_∞ design with pole placement constraints: an LMI approach // IEEE Trans. AC.- 1996. - V. 41. - No. 3. Pp. 358-367.
3. Chilali M., Gahinet P., Apkarian P. Robust pole placement in LMI regions // IEEE Trans. AC. - 1999. - V. 44. - No. 12. Pp. 2257-2270.
4. Бойченко В.А., Курдюков А.П., Тимин В.Н., Чайковский М.М. Некоторые методы синтеза регуляторов пониженного порядка и заданной структуры // Управление большими системами. - 2007. - Выпуск 19. - С. 23-126.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука. 1972.
6. Madoyan A. 2009. Design and comparison of mixed H_2/H_∞ controller for AMB system. Lappeenranta University of Technology, Finland, Lappeenranta.

Рукопись поступила в редакцию 12.07.13

УДК 669.017: 621.77

Н.Н. БЕРЕЖНОЙ, д-р техн. наук, проф., Д.Ю. КЛЮЕВ, канд. техн. наук, доц,
С.О. МАЦЫШИН, аспирант, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ГАРМОНИЗАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ УКРАИНЫ НА НЕКОТОРЫЕ МАРКИ СТАЛИ ГОРЯЧЕКАТАНОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТА С МЕЖДУНАРОДНЫМИ АНАЛОГАМИ

Рассмотрено предложение замены низколегированных спокойных сталей полуспокойными, соответствующими международным стандартам для производства арматуры, используемой для ответственных сварных и железобетонных конструкций.

Ключевые слова: низколегированные спокойные стали, полуспокойные стали, международные стандарты, арматура.

Постановка проблемы. В соответствии с Программой пересмотра действующих в Украине стандартов бывшего СССР, одной из основных задач технических комитетов по стандартизации является пересмотр межгосударственных стандартов, разработанных до 1992 г., и соответствие их Соглашению о технических барьерах в торговле ВТО (Agreement on Technical Barriers to Trade).

Одним из наиболее распространенных видов металлопродукции, который выпускается металлургическими предприятиями Украины, является горячекатаный арматурный прокат класса А400 (АIII) для производства железобетонных конструкций. При этом, наиболее распространенными марками низколегированных сталей на украинских предприятиях, являются кремнемарганцовистые стали 35ГС и 25Г2С согласно ГОСТ 5781 (табл. 1).

Таблица 1

Нормативные требования стандартов к химическому составу, механическим и служебным свойствам основных марок арматурной стали

Страна	Стандарт	Обозначение арматуры	Химический состав, %					Углеродный эквивалент $C_{эв}$, % не более)
			C	Mn	Si	S	P	
Украина	ГОСТ 5781	A400 (A-III)	0,30-0,37	0,8-1,2	0,6-0,9	0,045	0,045	0,62
	ГОСТ 10884	At-V, At-VI	0,20-0,29	1,2-1,6	0,6-0,9	0,045	0,045	0,62
США	ASTM A706	415/550	0,3	1,5	0,5	0,045	0,035	0,55
Великобритания	BS 4449	425-460	0,4	-	-	0,050	0,050	0,51
Япония	JISG 3112	SD 40	0,29	1,8	0,55	0,050	0,050	0,55
Германия	DIN 488	BSt 420	0,37	-	-	0,050	0,050	0,65

При производстве этих сталей наблюдаются: повышенные затраты легирующих материалов (силикомарганца, ферросилиция и т.д.), повышенные затраты труда на подготовку составов с изложницами и разливку металла; необходимость использования утепляющих, но засоряющих окружающую среду, теплоизоляционных материалов и утепляющих смесей; низкий выход годного.

Кроме того, показатели физико-механических и служебных свойств арматуры класса А400 (АШ) не полностью отвечают требованиям международных стандартов (табл. 2) [1].

Таблица 2

Современные нормативные требования стандартов к химическому составу, механическим и служебным свойствам основных марок арматурной стали

Страна	Номер документа	Обозначение арматуры	Количество углерода, С %	Углеродный эквивалент $C_{экр}$, % (не более)
Украина	ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурный для ЗБК	A500C A400C	0,25	0,30-0,52
Республика Беларусь	СТБ 1704-2006 Арматура ненапрягаемая для ЖБК	S400 S500	0,24	0,52
Румыния	STAS 438/1-89 Горячекатаная арматурная сталь. Марки и технические требования к качеству	I II III	0,22 0,23 0,27	0,50
Австралия (Новая Зеландия)	AS/NZS 4671:2001	500L 500N	0,22 0,24	0,39 0,41
Тунис	NT 26.05 (2004) Арматурная сталь ненапрягаемая для ЖБИ. Ч 2 «Ребристая прутковая арматура»	RB 400W RB 500 W	0,22 0,24	0,5 0,52
Британия	BS 4449:2005+A2:2009 Сталь для армирования бетона – Свариваемая сталь, прутки, мотки и размотанные изделия – технические условия	B500A B500B B500C	плавка 0,22 изделие 0,24	0,5 0,52
Германия	DIN 488-1:1984-09 Арматурная сталь		0,22	0,47

В связи с этим поиск путей совершенствования существующих марок стали горячекатаного арматурного проката является актуальным.

Цель работы. Обоснование возможности применения низколегированных полуспокойных сталей, соответствующих международным стандартам, для производства арматуры ответственного назначения.

Основная часть. Самыми массовыми арматурными сталями повышенной прочности ($\sigma_k \geq 590$ Н/мм², $\sigma_s \geq 392$ Н/мм²), производимыми на металлургических заводах Украины до 1993 г., являлись низколегированные спокойные марки 35ГС и 25Г2С, из которых производились горячекатаная бунтовая (№6-12) и стержневая (№10-40) арматура класса А400С (АШ), поставляемая по ГОСТ 5871[3].

По данным авторов [4,5] горячекатаная арматура из сталей 35ГС и 25Г2С вполне удовлетворяла требованиям ГОСТ 5781 как по химическому составу, так и по нормам регламентируемых механических свойств. В то же время было отмечено, что во всех зарубежных аналогах регламентировались только максимальные пределы содержания углерода, марганца и кремния.

Это позволяло производителям металлопродукции выбирать в пределах максимально допустимых норм химического состава стали необходимое содержание упомянутых выше элементов в зависимости от диаметров профиля и условий производства металлопродукции [2].

Использование арматуры класса А400С (АШ) из сталей 35ГС и 25Г2С обеспечило высокую надежность эксплуатации железобетонных конструкций ответственного назначения в промышленном и гражданском строительстве, мостостроении, гидротехнических сооружениях [3].

Однако в металлургическом производстве низколегированные спокойные стали характеризовались повышенным расходом ферросплавов и высоким расходным коэффициентом металла при прокатке слитков на заготовку [3].

В зарубежной практике стандартами допускалось использование микродобавок ниобия, ванадия, титана и других элементов для повышения прочности арматурной стали, что позволяло производить металл с пониженными содержаниями марганца и кремния [2].

Другие арматурные стали повышенной и высокой прочности в горячекатаном (35Г2пс, 25Г2Фпс, 25Г2Бпс, 35ГФпс, 35ГБпс, 75ГФпс, 32Г2Рпс) и термически упрочненном (10ГС2, 25С2Р, 20ГС2, 28С, 22С, 25Г2Р, 20ХГС2, 30ХС2) состояниях производились в ограниченных количествах. При этом низколегированные марки стали прошли только опытное опробование или промышленную проверку и до стадии широкого промышленного использования доведены не были.

В девяностых годах определилась тенденция снижения содержания углерода и степени ле-

гирования металла. Повышения прочностных показателей арматуры, регламентации дополнительных свойств при механических испытаниях (на выносливость, изгиб с разгибом) и свариваемости металла.

Анализ показал, что в условиях ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» - крупнейшего производителя арматурного проката в Украине при производстве стандартных кремнемарганцовистых сталей 35ГС, 25Г2С и 20ГС, расходуется 15-20 кг/т силикомарганца, 7-8 кг/т 65 % ферросилиция, 0,4 кг/т алюминия, при этом обрезь на блюминге составляет 11-14 %.

Многими исследователями было установлено, что кремний вызывает образование крупных силикатов в металле и отрицательно влияет на однородность, хладостойкость, циклическую прочность проката. При этом упрочняющий эффект кремния в стали невысокий - 0,56-0,92 Н/мм² на 0,1 % его содержания в металлопродукции.

Это предопределило необходимость проведения многолетних, но безуспешных исследований по разработке так называемого бескремнистого раскисления спокойных сталей с целью предотвращения образования крупных силикатов и повышения свойств металлопродукции. Назрела необходимости изыскания экономичных составов и разработки ресурсосберегающей технологии производства малокремнистых (прежде всего полуспокойного типа) арматурных сталей повышенной (А400С, А420С, А460С, А500С) и высокой (Ат800, Ат1000) прочности в соответствии с современными международными требованиями.

Для оценки перспективных направлений решения этой задачи проанализированы данные о фактическом сортаменте и составе, технологии производства, свойствах и эффективности применения углеродистых полуспокойных сталей, широко производившихся в Украине и в зарубежной практике взамен соответствующих спокойных сталей.

Широкомасштабные работы по созданию рационального марочного сортамента углеродистых полуспокойных сталей взамен спокойных выполнены в Украине в 50-60-х годах прошлого столетия. Аналогичные работы были проведены в 40-60-х годах и за рубежом (в США, Англии, Франции, Индии, Германии и других странах). В результате этих исследований были разработаны и освоены углеродистые и низколегированные полуспокойные стали с содержанием углерода 0,05-0,9 % и марганца 0,25-1,7 % для тонкого (0,2-3,9 мм) и толстого (4-50 мм) листа, фасонного (с толщиной полки до 25 мм), сортового (с размером сечения до 120 мм) и арматурного (диаметром до 40 мм) проката, промышленных рельсов, катанки. Данные о нормах химического состава основных стандартных полуспокойных сталей приведены в табл. 3.

Установлено, что на структуру слитка и физико-механические свойства проката решающее влияние оказывает степень раскисленности малокремнистой стали, которая характеризуется продолжительностью искрения металла в изложнице после закрытия стопора.

Показано, что если малокремнистая сталь после наполнения изложницы искрит 10-40 с, застывая без крупных наплывов, то можно рассчитывать на получение структуры слитка, при который обеспечивается минимальная головная обрезь, максимальное приближение к спокойной стали по физико-механическим свойствам и минимальный объем зачистки заготовки [2].

При разработке рациональной технологии раскисления полуспокойной стали в первую очередь были выявлены и исключены технологические факторы, снижающие стабильность раскисленности металла.

Таблица 3

Химический состав, вид проката и состояние поставки основных стандартных полуспокойных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								Вид проката*	Состояние поставки**
	Углерод	Марганец	Кремний	сера	фосфор	азот	медь	другие элементы		
				не более						
Углеродистые с обычным содержанием марганца										
Ст1пс	0,06-0,12	0,25-0,5	0,05-0,17	0,05	0,04	≤0,008	≤ 0,3	-	Л,С,Ф, К	Г
Ст2пс	0,09-0,15	0,25-0,5	0,05-0,17	0,05	0,04	≤0,008	≤ 0,3	-	Л,С,Ф, К	Г
Ст3пс	0,14-0,22	0,4-0,65	0,05-0,17	0,05	0,04	≤0,008	≤ 0,3	-	Л,С,Ф, К	Г
Ст4пс	0,18-0,27	0,4-0,7	0,05-0,17	0,05	0,04	≤0,008	≤ 0,3	-	Л,С,Ф, К	Г
Ст5пс	0,28-0,37	0,5-0,8	0,05-0,17	0,05	0,04	≤0,008	≤ 0,3	-	Л,С,Ф, К	Г

Ст5пс арматур- ная	0,30-0,39	0,6-0,9	0,05-0,15	0,055	0,045	≤0,008	≤0,3	-	А №10- 28	Г
Ст6пс	0,38-0,49	0,5-0,8	0,05-0,17	0,05	0,04	≤0,008	≤0,3	-	С	Г
Нпс	0,4-0,5	не регл.	0,05-0,17	0,055	0,05	≤0,008	≤0,3	-	Р	Г
Тпс	0,5-0,6	не регл.	0,05-0,17	0,055	0,05	≤0,008	≤0,3	-	Р	Г
ПТпс	0,6-0,8	не регл.	0,05-0,17	0,055	0,05	≤0,008	≤0,3	-	Р	Г
Ш55пс	0,35-0,7	0,5-1	не регл.	0,06	0,06	≤0,008	≤0,3	-	Ш	У
Ш75пс	0,6-0,9	0,5-1	не регл.	0,06	0,06	≤0,008	≤0,3	-	Ш	У
08пс	0,05-0,12	0,35-0,65	≤0,17	0,04	0,035	≤0,008	≤0,3	-	Л	Г,Х
10пс	0,07-0,14	0,35-0,65	≤0,17	0,04	0,035	≤0,008	≤0,3	-	Л	Г,Х
15пс	0,12-0,19	0,35-0,65	≤0,17	0,04	0,04	≤0,008	≤0,3	-	Л	Г,Х
20пс	0,17-0,24	0,35-0,65	≤0,17	0,04	0,04	≤0,008	≤0,3	-	Л	Г,Х
25пс	0,22-0,3	0,5-0,8	≤0,17	0,04	0,04	≤0,008	≤0,3	-	Л	Г,Х
Углеродистые с повышенным содержанием марганца										
Ст3Гпс	0,14-0,22	0,8-1,1	≤0,15	0,05	0,04	≤0,008	≤0,3	-	Л,С,Ф	Г
Ст5Гпс	0,22-0,3	0,8-1,2	≤0,15	0,05	0,04	≤0,008	≤0,3	-	Л,С,Ф	Г
Ст5пс арматур- ная	0,28-0,37	0,8-1,1	≤0,15	0,055	0,045	≤0,008	≤0,3	-	Л,С,Ф	Г
Низколегированные										
18Г2Фпс	0,06-0,12	1,2-1,7	≤0,15	0,04	0,035	0,015- 0,03	≤0,3	[0,08- 0,18]V	Л	Н,У
15Г2АФ Дпс	0,09-0,15	1,2-1,6	≤0,15	0,04	0,035	0,015- 0,03	0,2-0,4	[0,08- 0,15]V	Л	Н
20Г2АФп с	0,14-0,22	1,1-1,5	≤0,15	0,045	0,04	0,015- 0,025	≤0,3	[0,07- 0,12]V	ШК	Г
18ГБпс	0,18-0,27	0,8-1,2	≤0,15	0,04	0,035	≤0,008	≤0,3	[0,02- 0,04]Nb	Л,Ф	Г,Н

* Л - листовой; С - сортовой; Ф - фасонный; К - катанка; Р - рельсы узкой колеи; Ш - помольные шары; А - арматура.; ШК - шахтная крепь. ** Г - горячекатаная; Х - холоднокатаная; У - улучшенная; Н - нормализованная

Установлено, что исключение алюминия и замена его кремнийсодержащими сплавами для раскисления полуспокойной стали в ковше приводит к более надежному обеспечению оптимальной раскисленности металла в связи с более стабильным усвоением кремния, чем алюминия. При этом повышается выход годного проката из слитка в среднем на 1 % [2].

Доказана также целесообразность исключения раскисления полуспокойной стали кремнийсодержащими сплавами в печи и науглероживания металла в ковше более, чем на 0,03 % [4]. В связи с более стабильным усвоением кремния (примерно в 3 раза) при раскислении металла в ковше по сравнению с его вводом в печь выход годной заготовки из слитка в первом случае на 2 % и более. По этой же причине увеличивается выход годного проката на 1 % при исключении науглероживания полуспокойной стали в ковше с коксиком или термоантрацитом.

Кроме того, признано необходимым регулировать количество кремния, вводимого ферросплавами, в зависимости от химического состава стали и условий производства.

Исследования показали, что оптимальная концентрация кремния в полуспокойной стали при температурах начала затвердевания повышается с увеличением содержания углерода, водорода и азота и снижается при увеличении содержания марганца, ванадия и скорости разливки.

Обработкой экспериментальных данных установлена следующая корреляционная зависимость между концентрацией кремния [% Si] в оптимально раскисленной полуспокойной стали, содержаниями углерода [% C], марганца [% Mn], ванадия [% V], азота [% N], водорода [% H] в ковшевой пробе и линейной скорости разливки металла (V_p , м/мин)

$$[\% \text{ Si}] = 0,05 + 0,09 [\% \text{ C}] - 0,0453 [\% \text{ Mn}] - 0,125 [\% \text{ V}] + 2,1 [\% \text{ N}] + 77,28 [\% \text{ H}] - 0,008 (V_p - 0,4).$$

Исследованиями и практикой производства определено, что оптимальное содержание кремния в углеродистых полуспокойных сталях колеблется для каждой марки стали в узких пределах (0,01%) и в целом составляет от 0,05 до 0,1 %.

Для повышения свойств углеродистой полуспокойной стали в листовом и фасонном прокате толщиной более 10 мм и сортовом свыше 16 мм до уровня углеродистой спокойной стали

использовано легирование марганцем. Установлено, что при легировании полуспокойной стали марганцем значительно повышается ее прочность и хладостойкость и снижается чувствительность к механическому старению.

На основе этих данных разработаны и внедрены полуспокойные стали с повышенным (0,8-1,1%) содержанием марганца - Ст3Гпс (18Гпс) для ответственных сварных металлических конструкций, Ст5Гпс для тяжело нагруженных сварных конструкций сельхозмашин, Ст5пс - сталь арматурная для железобетонных конструкций (см. табл. 3), превосходящие по комплексу физико-механических и эксплуатационных свойств наиболее массовые стали марок Ст3сп и Ст5сп.

Выводы. Комплексным анализом действовавших и современных требований международных, межгосударственных и национальных стандартов на арматурный прокат, используемый для изготовления обычных (ненапрягаемых) и предварительно напряженных железобетонных изделий массового назначения установлено, что производство полуспокойных сталей приводит к увеличению надежности и долговечности конструкций за счет повышения свариваемости, выносливости, живучести, коррозионной стойкости и других эксплуатационных свойств по сравнению со спокойными сталями.

Список литературы

1. Малокремнистые арматурные стали // В.А. Вихлевщук, Н.М. Омесь, В.А. Нечепоренко, Г.А. Макаров, И.М. Любимов, А.В. Кекух, В.А.Поляков, Ю.Т. Худик, В.Н. Гуров, В.А. Шеремет / - К.: Наукова думка, 1999. – 152 с.
2. Научные и технологические основы производства арматурных сталей нового поколения // В.А. Вихлевщук, О.В. Дубина, В.А. Поляков, А.В. Сокуренок, С.Е. Самохвалов, Ю.Н. Омесь, И.М. Любимов, В.А. Шеремет /- К.: Наукова думка, 2001.–160 с.
3. Теория и практика прокатки малокремнистых арматурных сталей // В.А. Вихлевщук, О.В. Дубина, А.В. Ноговицын, В.А. Сацкий, А.В. Сокуренок, В.А.Шеремет, И.М. Любимов, И.Н. Смияненко, Н.М. Омесь, В.А. Поляков, П.И. Кривошеев, Ю.Т. Худик / - К.: Наукова думка, 2001. – 140 с.
4. Производство высокопрочной стали / И.Г. Узлов, Ю.Т. Худик, А.В. Ивченко и др.// Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». – 1986. - №1. – с. 18-31.
5. Разработки по изысканию экономичных составов и ресурсосберегающих технологий производства новых арматурных сталей / В.А. Вихлевщук, Н.М. Омесь, Г.Ф. Боровиков, И.М. Любимов, Ю.Т. Худик, В.А. Кондрашкин, В.А. Поляков, А.В. Кекух// Металл и литье Украины. – 1996. - №1-2. – с.11-15.

Рукопись поступила в редакцию 21.02.13

УДК 504.064.2: 622.271.4

В.В. ЄФІМЕНКО, асистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ УПРАВЛІННІ ЗВАЛИЩАМИ ТА ЇХ ЗЕМЕЛЬНИМИ ДІЛЯНКАМИ

Питання сміття або твердих побутових відходів (ТПВ), як слід їх термінологічно коректно називати, актуальне в будь-якому місті нашої планети і потребує як найшвидшого свого вирішення. Ціна цього рішення вимірюється не тільки вартісними показниками, які становлять мільярди доларів, а й чистотою навколишнього середовища та здоров'ям людей. На цей час, однією з актуальніших проблем населених пунктів різних типів є несанкціоновані неупорядковані звалища твердих відходів. Одним з етапів вирішення цієї проблеми є розробка принципів управління цими земельними ділянками, яка базується на аналізі глибини негативних перетворень природного середовища, морфологічного складу товщі з урахуванням динаміки тимчасових змін і експлуатаційного стану конкретного звалища. Сума негативних дій звалищ на довкілля території і активність дій функціонально залежить від наступних параметрів

$$\Sigma_{\text{нег.повітря}} = f(S_{\text{уч.}}; C_{\text{п}}; C_{\text{ит}}; C_{\text{з}}; V_{\text{то}}; M_{\text{то}}; t), \quad (1)$$

де $\Sigma_{\text{нег.повітря}}$ - сума негативних чинників на природне середовище; $S_{\text{уч}}$ - площа земельної ділянки; $C_{\text{п}}$ - система природно-кліматичних умов території (інженерно-геологічна і гідрологічна будова ділянки, баланс зволоження і випару території, ґрунтові умови та ін.); $C_{\text{ит}}$ - система інженерно-технічних характеристик об'єктів (наявність або відсутність інженерних об'єктів для управління процесами в робочій і господарській зонах звалища(системи дегазації і збору фільтрату, збору і відведення поверхневого стоку, очисні споруди поверхневого стоку і фільтрату, зовнішні мережі водопроводу і ін.); $C_{\text{з}}$ - система експлуатаційних умов(виконання або ігнорування необхідного технологічного циклу(створення ізоляційних шарів в товщі звалища, ущільнення ґрунтів і відходів до