



УДК 669.141.247:669.018.24

## РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ПОДШИПНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ ШХ15СГ-В

А. И. Панченко, А. С. Сальников, М. И. Гасик

Обобщены и проанализированы результаты разработки, промышленного освоения и внедрения в производство инновационной технологии выплавки подшипниковой стали ШХ15СГ-В в дуговых печах ДСП-60, рафинирования на УПК и вакуумирования с диверсификацией применяемых раскислителей и легирующих. Достигнуто повышение выхода годных партий сортового проката стали ШХ15СГ-В всех пяти размерных групп с первого сдаточного контроля по неметаллическим включениям и контроля по ASTM E-45 (метод А) от 63 (по действовавшей технологии) до 90 % (по разработанной технологии), а по отдельным размерным группам проката — 100 %.

Results of development, industrial mastering and implementation in production of innovation technology of melting bearing steel ShKh15SG-V in arc furnaces DSP-60, refining in furnace-ladle unit and vacuum treatment with a diversification of used deoxidizers and alloying elements are analyzed and generalized. The increase in output of efficient batches of section rolled steel ShKh15SG-V of all five dimensional groups after the first acceptance control as to the non-metallic inclusions and control by ASTM E-45 (method A) from 63 % (according to existing technology) up to 90 % (according to developed technology), and by separate dimensional groups of rolled metal — 100% was achieved.

**Ключевые слова:** подшипниковая электросталь; дуговая сталеплавильная печь; инновационная технология; диверсификация легирующих и раскислителей; твердые шлакообразующие материалы; шлаки; ковш-печь; вакуумирование; сортовой прокат; неметаллические включения

**Актуальность работы по повышению качества подшипниковой стали ШХ15СГ-В путем снижения загрязненности неметаллическими включениями.** Подшипниковая сталь, выплавляемая на ОАО «Днепроспецсталь», в значительных объемах поставляется Харьковскому подшипниковому заводу (АО «ХАРП»), в последние годы занявшему одну из лидирующих позиций в сегменте отечественного и международного рынков подшипников, в том числе и для ОАО «Российские железные дороги». Существенным стимулом развития производства подшипников на АО «ХАРП» из электростали ОАО «Днепроспецсталь» является поставка заводом подшипников различных размерных групп для развивающейся автомобильной промышленности России.

Актуальной является задача повышения эффективности производства стали ШХ15СГ-В путем увеличения выхода годных партий сортового проката с первого сдаточного контроля по неметаллическим включениям при оценке по ГОСТ 801–78 и ASTM E–45 (метод А),

а также снижения удельного расхода раскислителей и легирующих при выплавке стали.

**Основные положения действовавшей и новой технологии выплавки и внепечной обработки стали ШХ15СГ-В.** Действовавшая в 2007 г. технология выплавки подшипниковой стали ШХ15СГ-В в дуговых печах ДСП-60 предусматривала использование для раскисления и легирования металлопродукта в дуговой печи и ковше-печи ферросилиция марки ФС65 (ДСТУ 4127–2002), а также высокоуглеродистого ферромарганца ФМн78А (ДСТУ 3547–97 [1]). При выпуске металлопродукта из печи в ковш-печь присаживали твердые шлаковые материалы (ТШМ), состоящие из извести и плавикового шпата. Металл в ковше-печи раскисляли алюминием. Электросталь ШХ15СГ-В разливали в изложницы с получением слитков массой 3,4 т.

Физико-химический аудит процессов, выполненный на всех стадиях выплавки металлопродукта в дуговых электропечах, обработки стали на УПК и в вакууматоре, разливки металла и формирования неметаллических включений при кристаллизации стали в изложницах, показал, что тип включений и их количество определяются содержа-



нием кальция и алюминия в стали и предысторией предварительного раскисления и легирования металлопродукта с применением определенных видов ферросплавов с различным содержанием в качестве примеси кальция и алюминия.

При понижении температуры кристаллизации стали с различными остаточными концентрациями кальция и алюминия могут образовываться алюминаты кальция, различающиеся молекулярным составом и температурой плавления (рис. 1):

Алюминаты кальция	$\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
Массовая доля CaO, %	16,5	26,5	37,1	58,1
Температура плавления, °C	1852	1762	1604	1540

Все соединения  $\text{CaO}$  с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  образуются по перитектическим реакциям. В системе существует также эвтектика химического состава (мас. %): 49,1  $\text{CaO}$  и 50,9  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с температурой 1371 °C. Следует особо отметить, что ссылки в журнальных публикациях на существование в системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$  соединения  $7\text{CaO} \cdot 12\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ ) не обоснованы. В работе [1] исследованы системы  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , подтверждено, что обнаруживаемое в работах ряда авторов соединение  $7\text{CaO} \cdot 12\text{Al}_2\text{O}_3$  представляет собой гидратную фазу  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{32}(\text{OH})$ . Наиболее полное и обстоятельное исследование состава фаз и невариантных превращений в системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$  описано в статье [2] (рис. 1).

При постоянном содержании кальция в стали, например 10 ppm, в зависимости от концентрации (активности) алюминия могут образовываться алюминаты кальция с различным минеральным составом и, следовательно, различным количеством неметаллических включений. В случае постоянного содержания алюминия и изменения остаточной концентрации кальция также будут создаваться условия для образования алюминатов кальция.

Источниками поступления кальция при выплавке подшипниковой стали ШХ15СГ-В являются ферросилиций марки ФС65 (ДСТУ 4127-2002) и высокоосновный шлак в ковше-печи. Физико-химический анализ процессов промышленных плавов подтвердил, что использование ферросилиция ФС65 с нерегламентируемым стандартом содержанием кальция (0,3... 0,6 %) является одним из основных неуправляемых факторов, влияющих на образование глобулярных и оксидных включений в электростали ШХ15СГ-В [3, 4]. Вместе с тем применение 75%-го ферросилиция, практически чистого по примесям кальция и алюминия, как установлено в наших работах, не решало задачу повышения выхода годных партий сортового проката с первого сдачного контроля по неметаллическим включениям.

На серии промышленных плавов стали ШХ15СГ-В с использованием импортного 75%-го

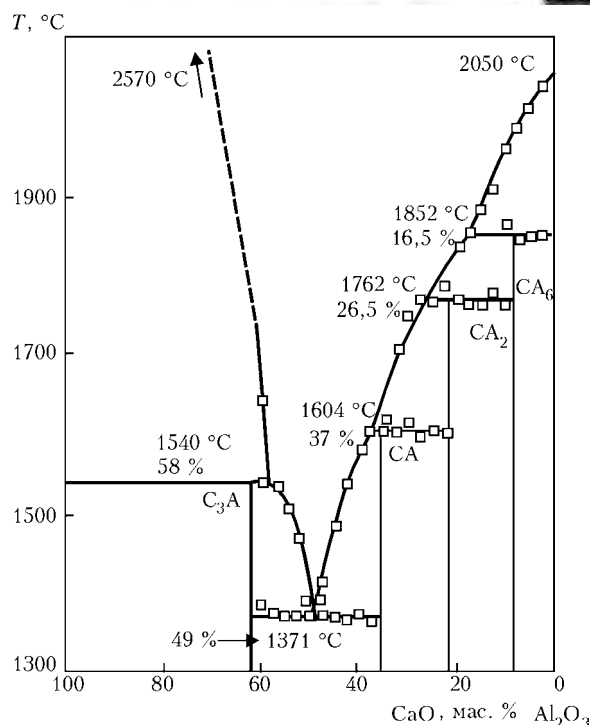


Рис. 1. Диаграмма состояния системы  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ ; числа — координаты эвтектической и перитектических превращений химических соединений  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}$ );  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}_6$ );  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}_2$ );  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}$ ) [2]

ферросилиция (кальция и алюминия не более 0,12 % каждого) получено снижение балла по глобулярным включениям, но при этом повысился балл загрязненности стали по оксидным включениям, вследствие чего увеличения выхода годных партий сортового проката с первого сдачного контроля не достигли [4].

Исходя из этого важного положения для обеспечения стабильно высокого показателя выхода годных партий сортового проката с первого сдачного контроля по неметаллическим включениям при оценке по ГОСТ 801-78 и стандарту ASTM E-45 (метод А) разработана технология выплавки стали ШХ15СГ-В с использованием ферросиликомарганца марок МнС25 и МнС17 (ДСТУ 3548-97).

Содержание кальция и алюминия в ферросиликомарганце, хотя и не регламентировано стандартом, но с учетом условий технологии его производства в ферросплавных печах всегда стабильно низкое (не более 0,10... 0,15 % каждого).

По разработанной технологии выплавки стали ШХ15СГ-В предварительное раскисление металлопродукта и полное легирование его хромом и марганцем производили в дуговой печи высокоуглеродистым феррохромом и ферросиликомарганцем, а корректировку химического состава металла по кремнию — в ковше-печи ферросилицием.

Таким образом, в новой технологии выплавки электростали ШХ15СГ-В реализована идея обеспечения на всех стадиях сквозной технологии выплавки и внепечной обработки стали обоснованного и экспериментально подтвержденного количества каль-



Таблица 1. Выход годных партий сортового проката пяти размерных групп проката с первого сдаточного контроля стали ШХ15СГ-В, выплавленной по действовавшей и разработанной технологиям при оценке по ГОСТ 801–78

Размерная группа проката	Количество, шт.		Оксиды			Сульфиды			Глобули			Выход годных партий с первого контроля	
	партий	образцов	средний балл	выпады		средний балл	выпады		средний балл	выпады		шт.	%
				шт.	%		шт.	%		шт.	%		
<i>2007 год</i>													
1	391	3652	2	237	6,5	2	4	0,1	2	569	15,6	187	48
2	136	1337	2	10	0,7	2	0	0	2	95	7,1	107	79
3	141	1110	2	89	8,0	2	5	0,5	2	119	10,7	84	60
4	51	388	2	8	2,1	2	0	0	2	17	4,4	46	90
5	480	5142	3	158	3,1	3	84	1,6	3	331	6,4	332	69
Σ	1199	11629	–	502	4,3	–	93	0,8	–	1131	9,7	756	63
<i>2008 год</i>													
1	356	3075	1,9	169	5,5	1,6	1	0	1,9	270	8,8	227	64
2	91	770	1,8	4	0,5	1,6	0	0	1,9	14	1,8	84	92
3	128	904	2,2	50	5,5	2,0	0	0	2,1	32	3,5	98	77
4	69	551	2,3	6	1,1	2,1	0	0	2,3	6	1,1	65	94
5	413	4108	2,5	61	1,5	2,2	0	0	2,3	50	1,2	376	91
Σ	1057	9408	–	290	3,1	–	1	0	–	372	3,9	850	80
<i>2009 год</i>													
1	137	1246	1,8	21	1,7	1,7	0	0	1,7	28	2,2	114	83
2	1	6	1,5	0	0	1,5	0	0	1,5	0	0	1	100
3	20	174	2,1	3	1,7	2,1	0	0	1,9	5	2,9	16	80
4	6	43	2,2	0	0	2,1	0	0	1,9	0	0	6	100
5	285	2877	2,6	29	1,0	2,3	1	0	2,2	13	0,5	269	94
Σ	449	4146	–	53	1,28	–	1	0	–	46	1,11	406	90

ция и алюминия в стали в определенных концентрационных пределах, что достигается путем использования ферросиликомарганца, отработки режимов его ввода в металлополупродукт, раскисления стали алюминием и соблюдения параметров вакуумирования [5].

**Сравнительный анализ данных о качестве сортового проката по неметаллическим включениям стали ШХ15СГ-В, выплавленной согласно действовавшей и разработанной технологиям при оценке по ГОСТ 801–78.** Электросталь ШХ15СГ-В в 2007 г. выплавляли по действовавшей технологии, а в 2008 и 2009 гг. — по разработанной и внедренной инновационной технологии. Сводные данные о количестве проконтролированных партий и образцов металла сортового проката по пяти размерным группам и проценте выпадов образцов по оксидам, сульфидам и глобулям стали ШХ15СГ-В обобщены в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что действовавшая технология выплавки стали в ДСП-60 и рафинирования ее на УПК с последующим вакуумированием не обеспечивала высокий выход годных партий проката с первого сдаточного контроля, который в сред-

нем по пяти размерным группам составлял 63 %, а по размерной первой группе — всего лишь 48 %.

В 2008 и 2009 гг. сталь ШХ15СГ-В выплавляли по инновационной технологии с совершенствованием операций на каждой стадии плавки: присадка ферросиликомарганца по вариантам в дуговую печь или в ковш-печь, корректировка металла по содержанию кремния ферросилицием и раскисление металла алюминием, вакуумирование стали.

Выход годных партий сортового проката электростали ШХ15СГ-В в 2008 г. увеличился до 80, а в 2009 г. — до 90 %. При этом количество выпадов всех пяти размерных групп проконтролированных образцов стали ШХ15СГ-В по оксидам в 2008 и 2009 гг. составило 3,10 и 1,28 % против 4,3 % в 2007 г. Количество выпадов образцов по глобулярным включениям в 2007 г. равнялось 9,7 % и существенно снизилось в 2008 (3,7 %) и в 2009 гг. (1,11 %).

Таким образом, внедрение новой технологии производства электростали ШХ15СГ-В при оценке загрязненности металла неметаллическими включениями по стандарту ГОСТ 801–78 позволило увеличить выход годных партий сортового проката с первого сдаточного контроля от 63 в 2007 г. до 90 % в 2009 г.



Таблица 2. Требования зарубежных фирм к электростали ШХ15СГ-В по загрязненности сортового проката при оценке согласно ASTM E-45 (метод А)

Фирма-заказчик	Допустимые предельные значения баллов по типам и сериям включений							
	Сульфиды А		Оксиды В		Силикаты С		Глобули D	
	тонкие	толстые	тонкие	толстые	тонкие	толстые	тонкие	толстые
«Darinia» ТП № 278-05* (ТУ ДСС 002)	2,0	1,5	1,5	1,0	0	0	1,0	1,0
«Timken» ТП № 278-05*	2,0	1,5	1,5	0,5	0	0	1,0	0,5
«Krasnik S.A.», (ТУ WTm-138)	2,0	1,0	1,5	0,5	0	0	0,5	0,5

\*Нормативные технологические документы ОАО «Днепроспецсталь».

**Анализ загрязненности неметаллическими включениями стали ШХ15СГ-В, выплавленной по разработанной технологии с оценкой ASTM E-45 (метод А).** В сложившейся к началу 2008 г. ситуации завод «Днепроспецсталь» не всегда мог принять к исполнению предложения зарубежных фирм на поставку сортового проката подшипниковой стали ШХ15СГ-В в связи с более жестким методом контроля металла по неметаллическим включениям, согласно нормам ASTM E-45 (метод А). Вместе с тем заказы фирм «Darinia», «Krasnik S. A.» (ТУ WTm-138), «Timken» и др. представляют значительный интерес для производственной программы завода в аспекте больших объемов сортового проката повышенной рентабельности.

Особенность метода ASTM E-45 (метод А) контроля сортового проката по неметаллическим включениям четырех серий (сульфиды А, оксиды В, силикаты С, глобули D) с дифференцированной оценкой каждого из четырех типов по так называемым тонким и толстым включениям представлена в табл. 2.

Как следует из табл. 2, наиболее жесткими среди указанных фирм-потребителей подшипниковой стали являются требования польского партнера ОАО «Днепроспецсталь» WTm-138, поскольку баллы по оксидам толстой серии  $B_{тол}$ , а также глобулям тонкой  $D_{тон}$  и толстой  $D_{тол}$  серий на 0,5 меньше, по сравнению с требованиями фирмы «Darinia».

Важно отметить, что в соответствии с требованием заказчика WTm-138, необходимо учитывать только максимальные, а не средние баллы неметаллических включений, как по заказу фирмы «Darinia» и соответственно технологическим нормативным документам завода «Днепроспецсталь» (ТУ ДСС 002).

Анализ статистических данных балльных оценок металла партий сортового проката стали ШХ-15СГ-В, выплавленной по освоенной в 2008 г. технологии с применением ферросиликомарганца, показал, что выход годных партий с первого сдаточного контроля по неметаллическим включениям при оценке их по методу ASTM E-45 (метод А) по заказам фирмы «Darinia» повысился до 86 %.

Преобладающим видом включений и выпадам по ним были оксидные (их доля составляла 90 %).

Таким образом, трудность выполнения заказов этой фирмы заключалась в получении сортового проката, регламентированного по оксидным включениям серии В, причем именно тонкой  $B_{тон}$  серии.

Результаты оценки загрязненности стали плавков по действовавшей технологии по нормам WTm-138 показали, что выход годных партий проката с первого контроля составил всего лишь 43 %. Основным типом включений, не обеспечивающим сдаточные характеристики проката, являлись оксидные включения стали серии В, а также глобулярные включения  $D_{тол}$  и  $D_{тон}$ . Их доля с учетом выпадов по включениям  $B_{тол}$  и  $B_{тон}$  составила 55 %, причем доля включений  $B_{тон}$  преобладала среди всех включений.

**Анализ данных сдаточного контроля партий сортового проката стали ШХ15СГ-В, выплавленной для выполнения заказа WTm-138 при контроле качества проката по методу ASTM E-45 (метод А).**

В 2009 г. проведены опытно-промышленные плавки стали с целью отработки технологии выплавки металла для выполнения заказа WTm-138 с учетом контроля сортового проката по неметаллическим включениям по ASTM E-45 (метод А). Отличие разработанной технологии от действовавшей в 2007 г. состояло в использовании для раскисления металла в печи ДСП-60 после скачивания окислительного шлака ферросиликомарганца MnC17 с вводом его на среднемарочное содержание марганца с учетом остаточного содержания в стали.

Небольшое количество ферросилиция ФС65 для корректировки металла по кремнию присаживали вместе с ТШМ в ковш-печь.

Металлополупродукт в ковше-печи раскисляли алюминием (в среднем 1,3 кг/т). Степень усвоения вводимых легирующих и раскислителей следующая, %: марганца — 93,8, кремния — 72 и алюминия — 37.

По ходу обработки металла в ковше-печи на опытных плавках отбирали пробы для исследования изменения химического состава шлака: № 1 — после обработки металла ТШМ в ковше-печи, № 2 — на УПК после обновления шлака, № 3 — в конце обработки на УПК и № 4 — после вакуумирования (табл. 3).



Таблица 3. Изменение химического состава шлака опытных плавков по ходу рафинирования стали ШХ15СГ-В в ковше-печи

№ плавки	№ пробы	Массовая доля компонентов, %						
		CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	CaF <sub>2</sub>	S
<i>Опытные плавки</i>								
B21445	1	43,7	8,00	17,0	11,30	0,67	17,0	2,19
	2	60,5	3,40	8,14	7,27	1,80	18,0	0,42
	3	45,3	5,10	12,38	5,93	0,23	30,1	0,79
	4	52,4	3,88	18,57	8,65	0,24	15,0	0,98
B21928	1	51,4	6,06	9,12	8,69	2,41	21,4	0,62
	2	47,7	6,79	10,92	10,77	1,08	22,0	0,56
	3	47,7	5,58	17,90	10,12	0,23	17,1	1,02
B21960	1	48,9	7,28	13,68	11,47	0,43	16,03	1,54
	2	53,3	3,40	6,52	9,00	1,22	22,9	0,53
	3	54,4	4,61	11,08	10,12	0,27	18,37	0,72
<i>Серийные плавки с повышенным содержанием MgO</i>								
B14405	1	50,26	15,36	6,80	22,09	0,66		
	2	49,75	17,88	6,80	23,43	0,81		
	3	50,26	17,37	7,30	20,06	0,15	Не определяли	
B14407	1	51,43	15,88	8,20	22,85	0,77		
	2	48,14	17,60	7,0	16,34	0,91		
	3	54,25	9,84	13,6	14,96	0,70		

Содержание MgO в шлаках опытных плавков было существенно ниже, в сравнении со шлаками серийных плавков, металл которых характеризовался повышенными баллами по неметаллическим включениям. Для стабилизации качества сортового проката опытных плавков технологическим регламентом предусматривались мероприятия, обеспечивающие снижение содержания MgO в шлаке на стадиях выплавки и рафинирования стали.

В сочетании с другими параметрами плавки подшипниковой стали по разработанной технологии достигнута стабилизация задаваемых содержаний элементов и прежде всего кальция и алюминия, определяющих количество и типы неметаллических включений. Фактически массовые доли алюминия,

кальция, титана, серы, кислорода и азота в стали ШХ15СГ-В опытных плавков находились в следующих пределах:

Al, %	Ca, ppm	Ti, %	S, %	[O], ppm	[N], ppm
0,024...0,038	6...10	0,002...0,003	0,002...0,008	9...12	60...90
0,028	7	0,002	0,004	10	75

Данные сдаточного и исследовательского контроля сортового проката опытных плавков по балльным шкалам ГОСТ 801-78 и стандарта ASTM E-45 (метод А), а также согласно требованиям фирм «Dapinia» и WТm-138 приведены в табл. 4.

Таблица 4. Сравнительные данные сдаточного контроля сортового проката опытных плавков стали ШХ15СГ-В при оценке проката относительно неметаллических включений по ГОСТ 801-78 и стандарту ASTM E-45 (метод А) с учетом заказов зарубежных фирм

Количество плавков	Количество проконтролированных партий (четыре сдачи с первого контроля)	ГОСТ 801-78 по нормам для пяти групп сортового проката						ASTM E-45 (метод А) по нормам			
		1	2	3	4	5	Выход годного с первого контроля, %	«Dapinia»		WТm-138	
								Партии, шт.	Выход годного, %	Партии, шт.	Выход годного, %
15	29/29	-	-	-	7/7	8/8	100	11/11	100,0	3/3	100
36	77/74	2/2	3/3	-	8/8	9/9	100	49/46	93,9	-	-
Σ51	106/103	2/2	3/3	-	15/15	17/17	100	60/57	95,0	3/3	100

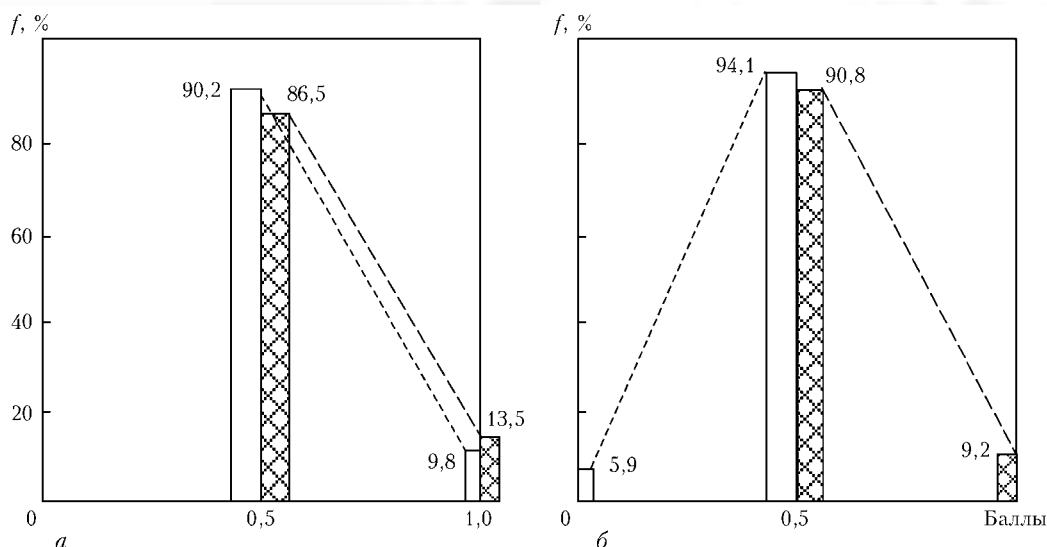


Рис. 2. Частота распределения образцов  $f$  стали ШХ15СГ-В с баллами по глобулярным включениям  $D_{тон}$  (а) и  $D_{тол}$  (б) сортового проката опытных (светлые столбики) и серийных (заштрихованные столбики) плавков при оценке по неметаллическим включениям согласно нормам WТm-138 ASTM E-45 (метод А)

Из данных табл. 4 следует, что металл 15 плавков стали при выполнении всех положений разработанных технологических инструкций аттестован с первого сдаточного контроля. Сортовой прокат трех плавков стали, проведенных с отклонением нормированных положений технологических инструкций, не в полной мере соответствовал требованиям зарубежных фирм по ASTM E-45 (метод А) из-за превышения средних баллов по серии оксидных включений  $B_{тон}$  (1,60... 1,86 балла при норме не более 1,56).

Анализ технологической документации трех плавков стали показал, что отклонения операций по ходу плавков заключались в длительной обработке металла на УПК (110... 120 мин при норме не более 90 мин), не предусмотренной технологией науглероживания стали перед вакуумированием пакетами кокса, а также повышенным содержанием алюминия (0,039... 0,050 %) при регламентированном не более 0,035 %. При повторном сдаточном контроле сортовой прокат этих трех плавков также аттестован годным.

Как отмечалось выше, особенностью требований WТm-138 является регламентирование количества включений по каждой серии не средним баллом, а максимальными.

Для количественной оценки эффективности разработанной технологии в отношении чистоты получаемого сортового проката по неметаллическим включениям в работе выполнен исследовательский контроль 51 образца металла девяти партий сортового проката в профиле 18... 90 мм, а также сдаточного контроля 783 образцов серийных плавков стали, выплавленной в 2008 г. Результаты исследовательского контроля представлены на рис. 2, 3.

Анализ данных рис. 2 свидетельствует о том, что количество включений выше нормированных баллов (табл. 2) в сортовом прокате опытных плавков значительно меньше, чем серийных — по типам включений глобулярных  $D_{тон}$  в 1,2 раза,  $D_{тол}$  в 9,0 и оксидных  $B_{тон}$  в 1,6 раза. Средний балл по оксидным включениям  $B_{тол}$  проката опытных плавков был значительно ниже, чем металла, выплавляемо-

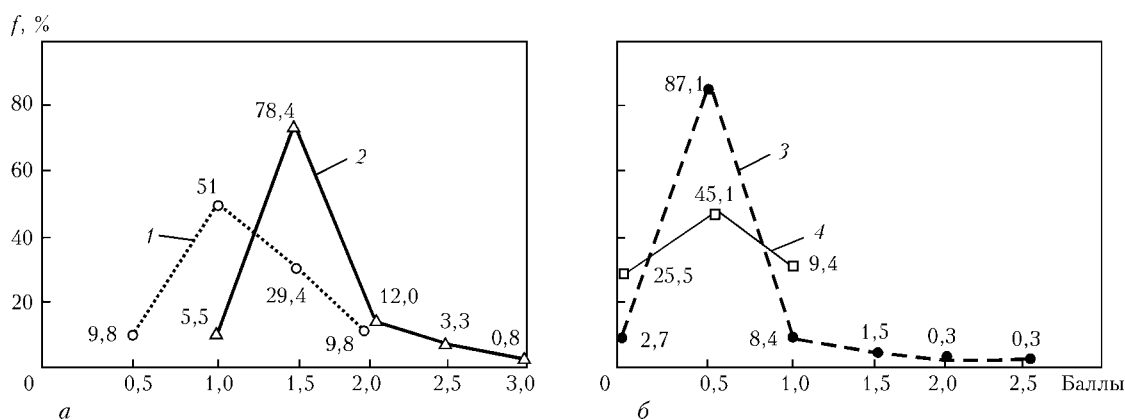


Рис. 3. Частота распределения образцов стали ШХ15СГ-В с баллами по оксидным включениям  $B_{тон}$  (а) и  $B_{тол}$  (б) сортового проката опытных (1, 2) и серийных (3, 4) плавков при оценке по неметаллическим включениям по стандарту ASTM E-45 (метод А) и нормам WТm-138



го по ранее действовавшей технологии, и составил 1,2 против 1,59.

В октябре 2009 г. выплавляли электросталь ШХ15СГ-В в ДСП-60 по прямому заказу фирмы WТm-138. Результаты исследовательского и сдаточного контроля качества проката (круг 36, 50 и 45 мм) по неметаллическим включениям показали полное соответствие его качества нормам WТm-138 и отгружены потребителю. Данные сравнительного анализа качества металла свидетельствуют о перспективности расширения производства стали ШХ15СГ-В и по весьма жестким нормам WТm-138.

Наряду с повышением качества стали ШХ15СГ-В по неметаллическим включениям разработанная инновационная технология обеспечивает снижение удельного расхода ферросплавов. При проведении 51 промышленной плавки стали группы ШХ15СГ-В в печи ДСП-60 удельный расход ферросплавов снижен на 3,14 кг/т, в том числе за счет применения ФМн78А — на 3,34 и ФС65 — на 1,62 кг/т.

Себестоимость стали ШХСГ15-В, производимой с использованием ферросиликомарганца МнС17, в сравнении с действующей технологией с применением ферромарганца ФМн78А и ферросилиция ФС65, снижена на 29,53 грн/т. Анализ технико-экономических показателей выплавки подшипниковой электростали подтверждает возможность дальнейшего повышения экономической эффективности ее производства.

#### Выводы

1. Разработана и внедрена в производство инновационная технология выплавки электростали ШХ15СГ-В в дуговых печах ДСП-60 с внепечной обработкой на УПК, а также вакуумированием с диверсификацией применяемых ферросплавов (использованием ферросиликомарганца МнС17 взамен высокоуглеродистого ферромарганца ФМн78А) при сокращенном расходе ферросилиция ФС65, обеспечивающая повышение выхода годных партий сортового проката с первого сдаточного контроля по

нормам зарубежных фирм при оценке по ASTM E-45 (метод А).

2. Установлено, что качество сортового проката стали ШХ15СГ-В, выпускаемого по промышленно освоенной новой технологии получения металла, при оценке по ASTM E-45 (метод А) значительно выше, по сравнению с прокатом, производившимся по действовавшей технологии с применением ферромарганца ФМн78А и ферросилиция ФС65; выход годных партий с первого сдаточного контроля при оценке загрязненности по неметаллическим включениям по ГОСТ 801–78 и ASTM E-45 (метод А) повысился от 63 до 90 %, а по отдельным размерным группам проката — до 100 %.

3. Показано, что разработанная и внедренная в промышленное производство технология выплавки электростали ШХ15СГ-В с использованием ферросиликомарганца МнС17 обеспечивает снижение расхода ферромарганца ФМн78А на 92, ферросилиция ФС65 — на 30 %, по сравнению с ранее действующей серийной технологией, себестоимости стали на 29,53 грн/т с возможностью дальнейшего улучшения технико-экономических показателей.

1. *Сравнительные* опытно-промышленные исследования влияния 65%-го ферросилиция с различным содержанием кальция на загрязненность стали ШХ15СГ-В глобулярными алюмокальциевыми включениями / А. И. Панченко, Н. М. Логозинский, А. С. Сальников и др. // Современ. электрометаллургия. — 2007. — № 4. — С. 49–55.
2. *Зайцев А. И., Литвин А. Д., Могутнов Б. М.* Фазовые равновесия в системе CaO–SiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // *Материаловедение*. — 1998. — № 5. — С. 18–25.
3. *Жеребцов Д. А., Арчуков С. А., Михайлов Г. Г.* Исследование плавкости системы CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // *Расплавы*. — 1999. — № 2. — С. 63–65.
4. *Неметаллические* включения в сортовом прокате электростали ШХ15СГХВ / М. И. Гасик, К. В. Григорович, А. И. Панченко и др. // *Электрометаллургия*. — 2010. — № 5. — С. 2–14.
5. *Теоретические* предпосылки процессов формирования оксидных и глобулярных включений при различных остаточных содержаниях кальция и алюминия / М. И. Гасик, А. П. Горобец, А. И. Панченко и др. // *Металлург. и горноруд. пром-сть*. — 2008. — № 1. — С. 48–54.

ОАО «Днепроспецсталь», Запорожье  
Нац. металлург. акад., Днепропетровск  
Поступила 25.05.2010