



*The experimental testing of application of fully magnesia casting ladles is carried out with the purpose of reduction of high-carbon steel contamination with nonmetallic impurities. Methods of appraisal of nonmetallic impurities and choice of their rating criteria are analyzed.*

А. Б. СЫЧКОВ, ФГБОУ ВПО МГТУ им. Г. И. Носова,  
М. А. ЖИГАРЕВ, А. В. ПЕРЧАТКИН, СЗАО «ММЗ»,  
В. И. ГРИЦАЕНКО, ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»

УДК 669.

## НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Качественные параметры высокоуглеродистой катанки нормируются в нормативной документации (НД) и требованиях потребителей. К этим параметрам можно отнести химический состав стали, дефектность поверхности, степень обезуглероживания, чистоту стали по неметаллическим включениям (НВ), макро- и микроструктуры, механические характеристики и т. п. [1–5]. Однако имеется ряд проблем, которые следует разрешить, чтобы повысить в целом комплекс свойств катанки и технологичность ее переработки на метизном переделе. Одной из этих проблем является чистота стали по НВ, повышение которой способствует улучшению исходной пластичности катанки и деформируемости ее при волочении в проволоку и свивке в пряди, канатные конструкции и металлокорд [6–11].

В процессе освоения высокоуглеродистой катанки наблюдалось устойчивое и монотонное снижение загрязненности стали НВ. Однако в последнее время наблюдается обратная картина: постепенно повышаются параметры, связанные с увеличением загрязненности стали НВ. Это, по-видимому, обусловлено неэффективной технологией вакуумирования стали: применением так называемой обратной схемы. Эта схема предусматривает вакуумирование стали на вакууматоре камерного типа (VD), обработку стали на установке ковш-печь (УКП). Когда вакуумирование металла проводится до его внепечной обработки на УКП, металл может получить НВ из материалов, присаживаемых после вакууматора на УКП. Не отлажена также и технология с применением полностью магнезиальных сталеразливочных ковшей (СК), а склонность при разливке к затягиванию ручьев алюминийсодержащими настывшими предопределяет значительный перегрев стали над расчетной темпера-

турой ликвидус, что формирует развитую дендритную ликвационную макроструктуру НЛЗ и способствует увеличению загрязненности стали НВ.

С целью повышения чистоты высокоуглеродистой стали по НВ и выработки критериев предельно допустимой загрязненности металла нами были проведены несколько мероприятий. К ним относятся применение полностью магнезиальных кирпичных сталеразливочных ковшей, в том числе и днища СК (плавка 1, сталь марки С82D), обработка стали на сливе из ДСП в СК белыми, синтетическими шлаками (плавки 2 и 3, сталь 80КРД), модифицирование НВ смешанной лигатурой, содержащей кальций и редкоземельные металлы (серия плавов 4–11, сталь марки С82D – опытные и контрольные плавки).

### Применение полностью магнезиального СК

Неметаллические включения в НЛЗ (плавка 1) количественно оценивались на кованых пробах от 6 темплетов, отобранных от каждого ручья МНЛЗ, по методике ГОСТ 1778, метод Л1. Следует отметить, что во всех образцах подавляющее большинство НВ (97–98,7% оксидов и 91,5–99,2% сульфидов) имеют размеры 0–5,6 мкм (1-я группа НВ по методу Л1, ГОСТ 1778); остальные НВ распределены по размерам таким образом:

- 2-я группа (5,9–11,2 мкм) – 0,7–4,2% оксиды и 0,8–6,7% сульфиды;
- 3-я группа (11,5–16,8 мкм) – 0–0,9% оксиды и 0–1,8% сульфиды;
- 4-я группа (17,1–22,4 мкм) – 0–0,9% оксиды; сульфидов нет;
- 5-я группа (22,7–28 мкм) – 0–0,3% оксиды; сульфидов нет;
- 7-я группа (33,8–39,2 мкм) – 0–0,7% оксиды; сульфидов нет;

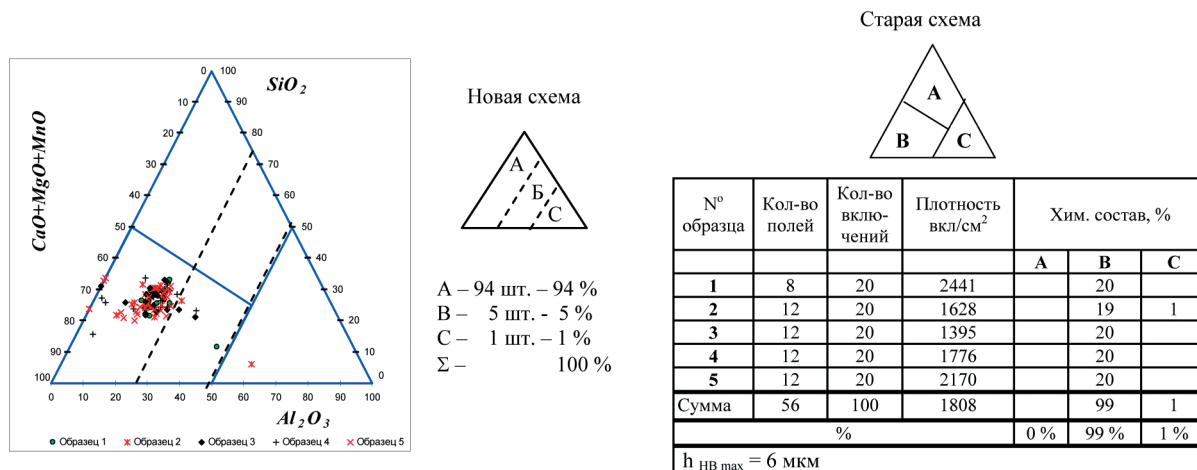


Рис. 1. Диаграмма фирмы «Pirelli» для катанки диаметром 11 мм из стали марки С82D, микролегированной ванадием (плавка 1)

т. е. в кованных образцах НЛЗ наблюдаются достаточно мелкие НВ (оксиды протяженностью до 11,5 мкм в 97,7–100% случаев по отдельным образцам; сульфиды – 16,8 мкм в 100% случаев). Расчетные индексы (оксиды – до  $6,5 \cdot 10^{-3}$ , сульфиды – до  $4,2 \cdot 10^{-3}$ , общий –  $8,6 \cdot 10^{-3}$ ) загрязненности литой стали НВ (т. е. удельная длина НВ на 1 мкм длины исследуемого участка, другими словами, от 0,65 до 0,86% базовой длины) также доказывают незначительность пораженности металла опытной плавки НВ оксидного и сульфидного видов/типов.

Диаграмма фирмы «Pirelli» (рис. 1) и конкретный анализ химического состава каждого НВ в катанке, участвующего в построении этой диаграммы, показывают удовлетворительное распределение НВ, которое может обеспечить высокую деформационную пластичность при волочении высокоуглеродистой катанки в проволоку диаметром до 0,15 мм

без существенной обрывности. Так, запретная зона С ( $h_{НВ} \leq 10$  мкм; плотность НВ  $\leq 20\text{--}40$  см<sup>-2</sup>) в опытной плавке включает всего 1 НВ протяженностью 1 мкм – 1% с плотностью  $\sim 18$  см<sup>-2</sup>. Остальные НВ находятся в оптимальной зоне В и имеют плотность  $1395\text{--}2441/1808$  см<sup>-2</sup>, но весьма малых размеров – не более 6 мкм. Фирма «Pirelli» признала, что плотность НВ не является представительной характеристикой и в 2004 г. заменила этот показатель на простое процентное соотношение, например, для металлокорда (см. спецификацию фирмы «Pirelli» N18. V.008, рев. № 7 от 16.06.2004 г.) допускается в зоне С ( $Al_2O_3 \geq 50\%$ ) не более 4% НВ с максимальным размером 10 мкм, в зоне В ( $Al_2O_3 = 25\text{--}50\%$ ) – не более 20% и в зоне А ( $Al_2O_3 = 0\text{--}25\%$ ) – остальные НВ; в зонах А и В протяженность НВ допускается до 30 мкм. На рис. 1 для плавки 1 количество НВ (по новой методике)

Таблица 1. Оценка НВ в катанке из стали 80КРД, обработанной белыми шлаками, по ГОСТ 1778 (метод Ш4)

Условный номер бунта	Оксиды		Силикаты			Сульфиды
	точечные	строчечные	недеформирующиеся	хрупкие	пластичные	
Плавка 2						
б.1	0,5	0	2,0 (13 мкм)	1,5	0	1,0
б.2	0,5	0	1,0	1,5	2,0 (4 мкм)	1,0
б.3	0,5	0	1,5 (12 мкм)	1,0	0	0,5
б.4	0,5	0	1,5 (12 мкм)	1,0	0	0,5
б.5	0,5	0	0,5	1,0	0	0,5
б.6	0,5	0	1,0	1,0	0	1,0
Средний балл	0,5	0	1,3	1,2	0,3	0,8
Плавка 3						
б.1	0,5	0	1,5 (22 мкм)	3,0	1,0	1,0
б.2	0,5	0	0,5	1,5	1,0	1,0
б.3	0,5	0	0,5	1,0	0,5	1,0
б.4	0,5	0	0,5	1,0	0,5	0,5
б.5	0,5	0	3,0 (62 мкм)	0,5	0,5	0,5
б.6	0,5	0	0,5	2,0 (16 мкм)	0,5	1,0
Средний балл	0,5	0	1,1	1,5	0,7	0,8

в зоне С составляет 1%, в зоне В – ~ 5 и в зоне А – 94 %. Это подтверждает высокую чистоту по НВ катанки из стали, обрабатываемой в СК, полностью зафутерованного основной магниезальной массой, обеспечившей наличие в металле мелких и пластичных НВ. Такой металл имеет высокую технологичность при переработке в тонкую проволоку и металлокорд.

**Обработка стали белыми синтетическими шлаками при сливе металла из ДСП в СК**

С целью снижения загрязненности стали НВ, ускорения процессов их модифицирования была опробована более ранняя обработка стали основными шлаками – на этапе слива металла из ДСП в СК. Для этого провели опытное производство высокоуглеродистой стали марки 80КРД (плавки 2 и 3) и катанки из нее. Причем обработку осуществляли белыми шлаками с УКП, полученными при производстве низкоуглеродистой стали с повышенным содержанием алюминия. Результаты металлографической оценки приведены в табл. 1 и на рис. 2, анализ которых показывает следующее.

Загрязненность стали НВ в НЛЗ оценивали исследованием кованных темплетов по ГОСТ 1778, метод Л1. Следует отметить, что по индексам НВ (оксидов – до  $9,9 \cdot 10^{-3}$ , сульфидов – до  $8,0 \cdot 10^{-3}$  и суммарный – до  $12,5 \cdot 10^{-3}$ ) плавка 2 несколько чище, чем плавки 3 и 1. НЛЗ плавки 3 наиболее загрязнены НВ. Это подтверждается и распределением НВ по размерным группам.

Диаграммы фирмы «Pirelli» катанки этих двух последних плавков характеризуются тем, что наблюдается очень много НВ в запретной зоне С, соответственно 31 и 11% для плавков 2 и 3. При этом размеры НВ небольшие: соответственно не более 3 мкм (один выпад  $h = 5$  мкм в зоне В) для плавки 2 и 4 мкм (один выпад 7 мкм в зоне В) для плавки 3. Максимальное содержание  $Al_2O_3$  (до ~68%) в НВ – это негативный результат, который обусловлен наличием в белых шлаках алюминия. Переход на белые шлаки, полученные в процессе внепечной обработки высокоуглеродистой стали, может дать положительный эффект – освобождение от НВ зоны С диаграммы Pirelli. С другой стороны, име-

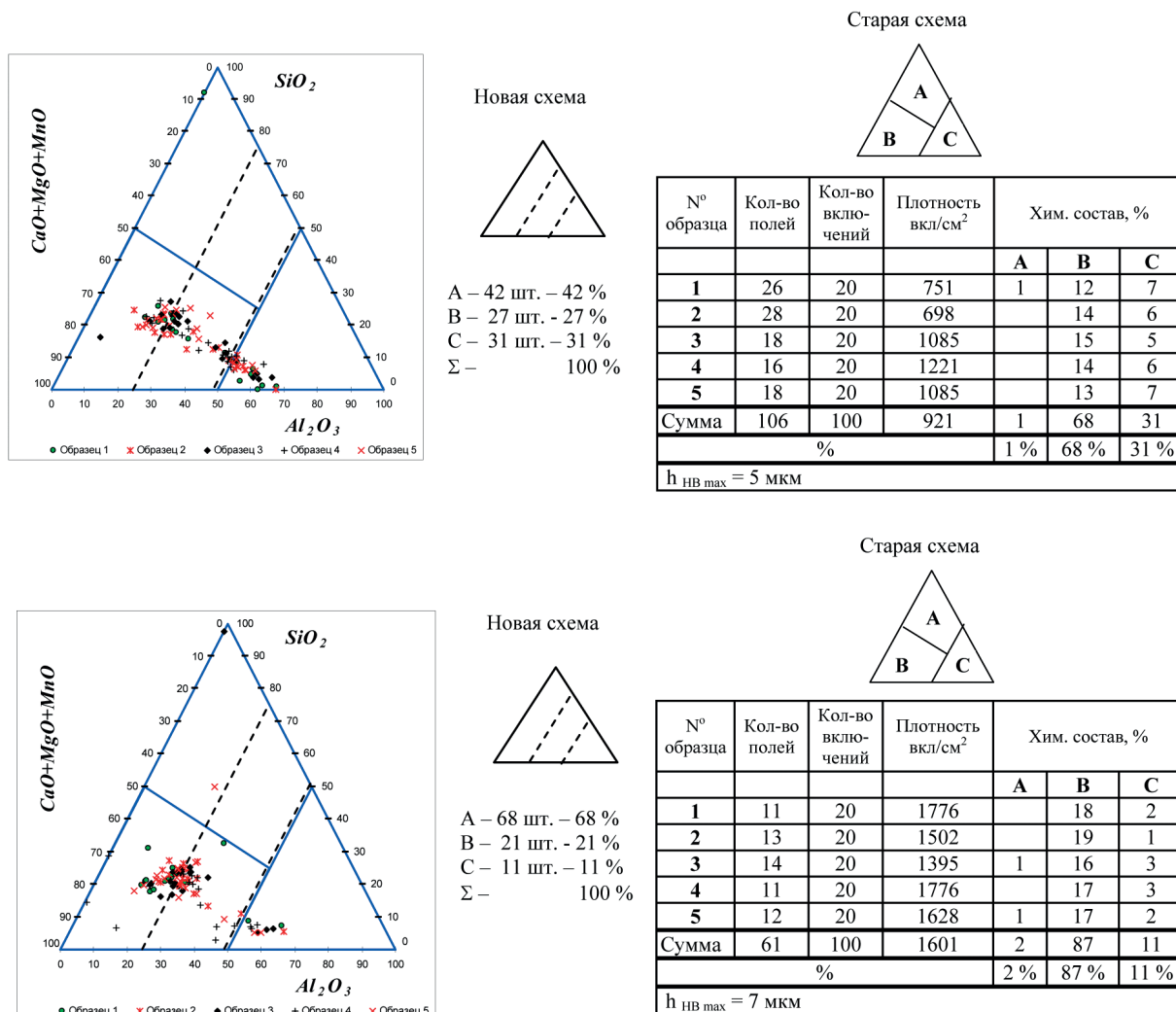


Рис. 2. Диаграмма фирмы «Pirelli» для катанки диаметром 5,5 мм из стали марки 80КРД

Таблица 2. Неметаллические включения в катанке диаметром 11 мм из стали С82D, обработанной или необработанной лигатурой с кальцием и редкоземельными металлами (ГОСТ 1778, метод Ш 4, оценка по методике СЗАО «ММЗ»)

Номер плавки	С (+), без лигатуры (-)	Оценка по удельным показателям всех типов НВ			Σ НВ в одном образце, min-max/Х <sub>ср</sub>	Максимальная толщина h <sub>НВ</sub> , мкм, тип НВ	Максимальный балл НВ
		удельные средние, ΣХ <sub>ср</sub> /n	удельные, максимальные ΣХ <sub>max</sub> /n	сумма удельных НВ, ΣΣ			
4	(+)	0,83	1,75	2,58	3–10/5	15-СН, 18-СХ, 16-СП	4,5-СХ, 4,0-СП
5	(+)	0,95	1,58	2,53	3,5–7,5/5,7	48-СХ, 14-СП	4-СХ, 3-СП
6	(+)	0,73	1,00	1,73	3–5,5/4,3	8-СХ, 4-СП	2-СХ, 2-СП
7	(+)	0,87	1,50	2,37	3–8/5,2	22-СН, 20-СХ	2-СН, 4-СХ
8	(+)	0,90	1,67	2,57	2–9,5/5,4	22-СН, 25-СХ, 13-СП	2,5-СН, 3-СХ, 3,5-СП
	Σ (+)	0,73–0,95/0,86	1,00–1,75/1,50	1,73–2,58/2,34	2–10/5,1	СН-22, СХ-48, СП-16	СХ-4,5, СН-2,5, СП-4
9	(-)	0,58	1,00	1,58	2,5–4,5/3,7	11-СН, 13-СХ	2-СН, 2-СХ
10	(-)	0,63	1,08	1,71	3–4,5/3,8	15-СН, 9-СХ	2-СН, 2-СХ
11	(-)	0,70	1,00	1,70	3,5–5/4,3	16-СН, 16-СХ	2-СН, 2,5-СХ
	Σ (-)	0,58–0,70/0,64	1,00–1,08/1,03	1,58–1,71/1,66	2,5–5/3,93	СН-16, СХ-16	СХ-2,5, СН-2,0
	Δ(+)-(-)	+0,22	+0,47	+0,68	+1,17	СН = +6, СХ = +32, СП = +16	СХ = +2 СН = +0,5 СП = +4

ется положительный эффект от опытной обработки стали синтетическими шлаками – прошло модифицирование НВ с их измельчением.

#### Обработка стали Са + РЗМ лигатурой

В технической литературе [8, 12, 13] приводятся данные о положительном воздействии редкоземельных элементов (РЗМ) как модификаторов жидкой стали, благотворно влияющих на кристаллическую структуру непрерывного слитка и загрязненность стали НВ. В ряде случаев действие РЗМ признается более эффективным, чем таких элементов, как кальций и бор. Так, например, РЗМ сильнее бора влияют на снижение длины зоны столбчатых кристаллов (ЗСК), но бор [14] больше РЗМ влияет на внутреннее строение дендритов. Утверждается также, что РЗМ является более сильным модификатором НВ, чем кальций. Поэтому в условиях СЗАО «ММЗ» была опробована в опытном порядке лигатура Са + РЗМ (примерный состав: 10–12% Са; 15% Mg; 40–45% Si; 10–12% РЗМ, из них до 50% Се, 25% La и 25% Nd или Pr прозедиума) в серии плавков 4–11. При этом ввод опытной лигатуры несколько варьировался:

- плавки 4 и 5 – 100 м Са + РЗМ после ввода в сталь бора;
- плавки 6 – 100 м Са + РЗМ до отдачи FeВ за 5 мин;
- плавки 7 и 8 – 150 м Са + РЗМ после отдачи FeВ проволоки;
- плавки 9–11 без обработки Са + РЗМ – контрольный металл.

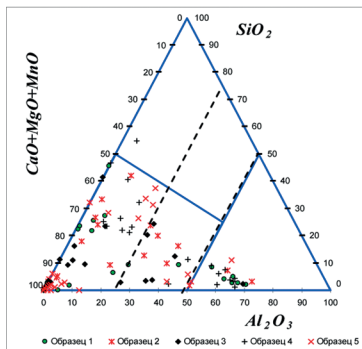
Следует отметить, что опыты проводили на стали марки С82D, микролегированной ванадием, из которой производится высокопрочная катанка, а затем и проволока для производства арматурных канатов, натяжителей вантовых мостов и т. п. К такому металлу предъявляются высокие требования к НВ и ликвационной однородности. Именно в этом направлении и предназначалось использование Са + РЗМ лигатуры.

В табл. 2 и на рис. 3 приведены результаты металлургического исследования НВ, анализ которых показывает следующее.

Лучшие результаты по чистоте катанки от НВ наблюдаются (табл. 2) на плавках 9, 10, 11, 6, в которых сумма удельных НВ соответственно равняется 1,58; 1,70; 1,71 и 1,73, что близко к требованиям к катанке под металлокорд. У остальных плавков этот показатель загрязненности стали НВ почти в 2 раза больше (2,37–2,58). Толщина НВ составляет в лучших плавках СХ – 13 мкм (плавка 9); СН – 16 и СХ – 16 мкм (плавка 11); СН – 15 мкм (плавка 10) и СХ – 8 мкм (плавка 6); в других плавках – СХ – 20 мкм (плавка 7); СХ – 48 мкм (плавка 5); СХ – 25 и СН – 22 мкм (плавка 8); СН – 15 и СХ – 18 мкм (плавка 4).

Приведенные результаты подтверждаются и диаграммами фирмы «Pirelli», но со своими оригинальными вариациями. Так, например:

- по толщине НВ лучшие плавки 9 ( $h_{НВ} \leq 4$  мкм), 10 ( $h_{НВ} \leq 7$  мкм) и 6 ( $\leq 6$  мкм), остальные плавки  $\leq 9$  мкм;

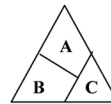


Новая схема



A – 64 шт. – 64 %  
B – 18 шт. – 18 %  
C – 18 шт. – 18 %  
Σ – 100 %

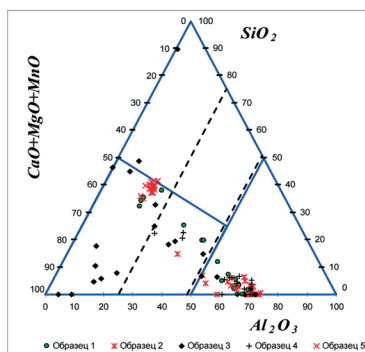
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %			
				A	B	C	
1	33	20	592		14	6	
2	34	20	574		18	2	
3	32	20	610		19	1	
4	12	20	651	1	11	8	
5	30	20	692		19	1	
Сумма	141	100	1601	1	81	18	
				%	1 %	81 %	18 %

h<sub>НВ max</sub> = 9 мкм

a

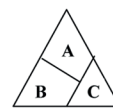


Новая схема



A – 28 шт. – 28 %  
B – 9 шт. – 9 %  
C – 63 шт. – 63 %  
Σ – 100 %

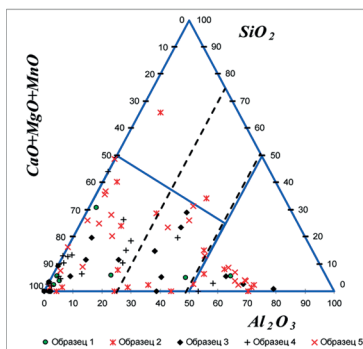
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %			
				A	B	C	
1	8	20	2441		7	13	
2	12	20	1628		1	19	
3	16	20	1221	2	14	4	
4	10	20	1953		3	17	
5	12	20	1628	1	19		
Сумма	58	100	1683	3	44	53	
				%	3 %	44 %	63 %

h<sub>НВ max</sub> = 6 мкм

б

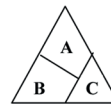


Новая схема



A – 67 шт. – 67 %  
B – 15 шт. – 15 %  
C – 18 шт. – 18 %  
Σ – 100 %

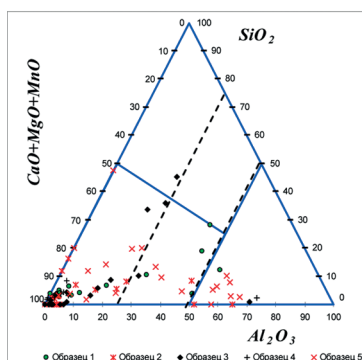
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %			
				A	B	C	
1	27	20	723		19	1	
2	18	20	1085	2	12	6	
3	35	20	558		17	3	
4	38	20	514		18	2	
5	33	20	592		14	6	
Сумма	151	100	646	2	80	18	
				%	2 %	80 %	18 %

h<sub>НВ max</sub> = 9 мкм

в

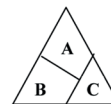


Новая схема



A – 79 шт. – 79 %  
B – 9 шт. – 9 %  
C – 12 шт. – 12 %  
Σ – 100 %

Старая схема



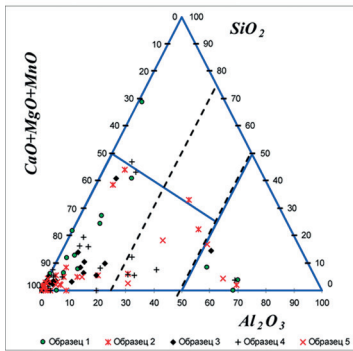
№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %			
				A	B	C	
1	19	20	1028		19	1	
2	34	20	574		18	2	
3	33	20	592	1	18	1	
4	24	20	814		19	1	
5	24	20	814		13	7	
Сумма	134	100	728	1	87	12	
				%	1 %	87 %	12 %

h<sub>НВ max</sub> = 9 мкм

г

Рис. 3. Диаграмма фирмы «Pigelli» для катанки диаметром 11,0 мм из стали марки С82D: а – плавка 4;



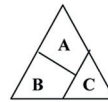


Новая схема



A – 84 шт. – 84 %  
B – 8 шт. – 8 %  
C – 8 шт. – 8 %  
Σ – 100 %

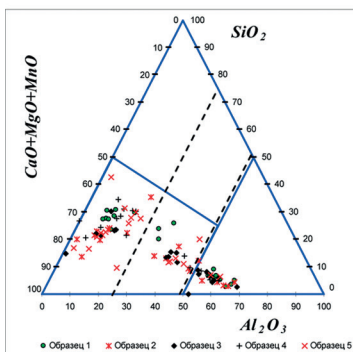
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	26	20	751	1	16	3
2	20	20	977	1	18	1
3	33	20	592		19	1
4	26	20	751	1	18	1
5	29	20	673		18	2
Сумма	134	100	728	3	89	8
				%		
				3 %	89 %	8 %

$h_{\text{НВ max}} = 9 \text{ мкм}$

д

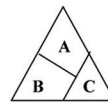


Новая схема



A – 49 шт. – 49 %  
B – 19 шт. – 19 %  
C – 32 шт. – 32 %  
Σ – 100 %

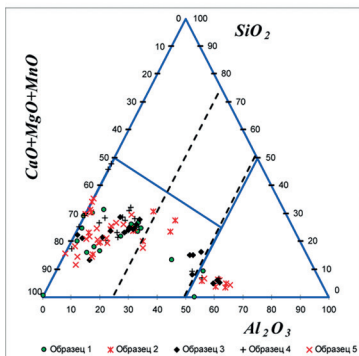
Старая схема



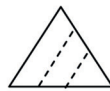
№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	29	20	673		11	9
2	13	20	1502		15	5
3	14	20	1395		12	8
4	25	20	781		12	8
5	20	20	977		18	2
Сумма	101	100	966		68	32
				%		
				0 %	68 %	32 %

$h_{\text{НВ max}} = 4 \text{ мкм}$

е

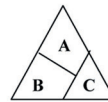


Новая схема



A – 75 шт. – 75 %  
B – 9 шт. – 9 %  
C – 16 шт. – 16 %  
Σ – 100 %

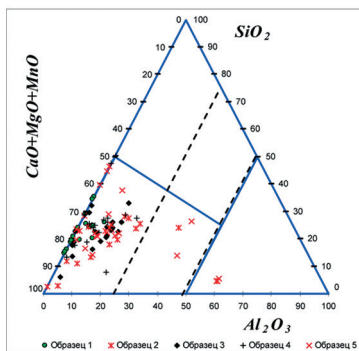
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	35	20	558		18	2
2	16	20	1221		14	6
3	33	20	592		17	3
4	38	20	514		17	3
5	35	20	558		18	2
Сумма	157	100	622		84	16
				%		
				0 %	84 %	16 %

$h_{\text{НВ max}} = 7 \text{ мкм}$

ж



Новая схема



A – 94 шт. – 94 %  
B – 3 шт. – 3 %  
C – 3 шт. – 3 %  
Σ – 100 %

Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см <sup>2</sup>	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	24	20	814		20	
2	31	20	630		18	2
3	34	20	574		20	
4	23	20	849	1	19	
5	30	20	651		19	1
Сумма	142	100	687	1	96	3
				%		
				1 %	84 %	3 %

$h_{\text{НВ max}} = 9 \text{ мкм}$

з

- по плотности НВ – плавки 10 (622 см<sup>-2</sup>); 5 (647 см<sup>-2</sup>); 11 (688 см<sup>-2</sup>); 4 (693 см<sup>-2</sup>); 7 и 8 (729 см<sup>-2</sup>) и в плавке 6 (1684 см<sup>-2</sup>);
- по загрязненности НВ в зоне С: плавки 11 (3%); 8 (8%); 7 (23%); 10 (16%); 4 и 5 (18%); 9 (32%) и 6 (53%);
- по эффективности расположения НВ по зонам диаграммы – плавки 10 и 11 (лучшая плавка).

Таким образом, модифицирование стали лигатурой, содержащей Са и РЗМ, при первичном опробовании не дало положительного эффекта. Тем не менее, наиболее оптимальными выглядят плавки 9 и 6 (оценка по ГОСТ 1778, метод Ш4) и плавки 9 и 8 (оценка по методике фирмы «Pirelli»). Однако плавки 9 и 6 не соответствуют требованиям к высококачественной катанке по химическому составу НВ (зона С – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 50%), плавка 8 имеет очень крупные единичные НВ. В целом металл без лигатуры значительно чище по НВ.

Тем не менее, можно рекомендовать повторить опыты по модифицированию стали Са + РЗМ лигатурой с целью поиска наилучшего результата.

**Оценка предельно допустимой загрязненности стали НВ с применением коэффициента физической неоднородности**

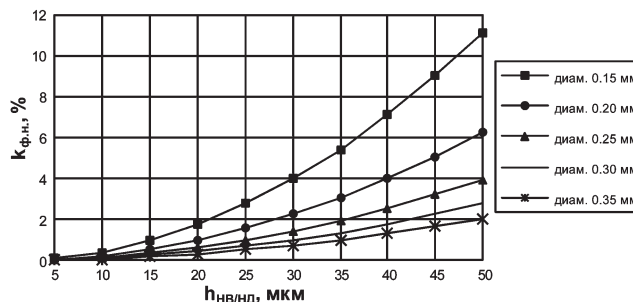


Рис. 4. Зависимость коэффициента физической неоднородности  $k_{фн}$  от размера единичного недеформируемого НВ ( $h_{НВ/НД}$ ) и диаметра готовой проволоки ( $d$ , мм): диаметр 0,15 мм –  $k_{фн} \leq 10\%$  –  $h \leq 47$  мкм;  $k_{фн} \leq 5\%$  –  $h \leq 33$  мкм;  $k_{фн} \leq 3\%$  –  $h \leq 26$  мкм; диаметр 0,20 мм –  $k_{фн} \leq 5\%$  –  $h \leq 45$  мкм;  $k_{фн} \leq 3\%$  –  $h \leq 35$  мкм; диаметр 0,25 мм –  $k_{фн} \leq 3\%$  –  $h \leq 43$  мкм; диаметр 0,30 и 0,35 мм – все значения  $k_{фн} \leq 3\%$  для всех  $h_{НВ/НД}$

В работах [8, 9, 15] доказывается, что применение для оценки НВ в стали коэффициента физической неоднородности  $k_{фн}$  ( $k_{фн} = S_{НВ}/S$ , где  $S_{НВ}$  – суммарная площадь, занимаемая недеформируемыми НВ;  $S$  – площадь поперечного сечения готовой проволоки) и эффективно, и универсально. Поэтому представляется целесообразным представить зависимость  $k_{фн}$  от предельных размеров единич-

Таблица 3. Значения  $k_{фн}$ , %, от толщины НВ ( $h_{НВ}$ ) и диаметра готовой проволоки  $d$

Диаметр проволоки, мм	$h_{НВ}$ , мкм									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,15	0,1	0,4	1,0	1,8	2,8	4,0	5,4	7,1	9,0	11,1
0,20	0,06	0,22	0,56	1,01	1,57	2,25	3,03	3,99	5,06	6,24
0,25	0,04	0,14	0,35	0,64	0,99	1,42	1,92	2,53	3,20	3,95
0,30	0,03	0,10	0,25	0,45	0,70	1,00	1,35	1,78	2,25	2,78
0,35	0,02	0,07	0,18	0,33	0,51	0,73	0,99	1,31	1,65	2,04

Таблица 4. Зависимость допускаемого количества НВ от толщины НВ и диаметра готовой проволоки  $d$

Диаметр проволоки, мм	$k_{фн} \leq$	$h_{НВ}$ , мкм									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,15	10	100	25	10	6	4	3	2	1	1	–
	5	50	13	5	3	2	1	–	–	–	–
	3	30	8	3	2	1	–	–	–	–	–
0,20	10	167	46	18	10	6	4	3	3	2	2
	5	83	23	9	5	3	2	2	1	1	–
	3	50	14	5	3	2	1	1	–	–	–
0,25	10	250	71	29	16	10	7	5	4	3	3
	5	125	36	14	8	5	4	3	2	2	1
	3	75	21	9	5	3	2	2	1	1	–
0,30	10	333	100	40	22	14	10	9	8	4	3
	5	167	50	20	11	7	5	4	3	2	2
	3	100	30	12	7	4	3	2	2	1	1
0,35	10	500	143	56	30	17	14	10	8	6	5
	5	250	71	28	15	10	7	5	4	3	3
	3	150	43	17	9	6	4	3	2	2	1

ных НВ и решить обратную задачу, а именно, определить количество предельно допустимых НВ в функции от размера НВ и  $k_{фн}$ . Эти зависимости представлены на рис. 4, 5 и табл. 3, 4. Используя эти данные, можно установить приемлемость катанки для конкретного назначения по уровню загрязненности стали НВ.

Анализ представленных данных показывает следующее. Расчетным способом установлены значения  $k_{фн}$  в зависимости от размера единичного недеформируемого НВ ( $h_{нв/нд}$ ), диаметра (0,35–0,15 мм) готовой проволоки кордового назначения. В работе [15] регламентировано допустимое значение  $k_{фн}$  в катанке, например, для металлокорда, равное не более 5%. С учетом этого критерия (рис. 4, табл. 3) можно установить, что 5%-ный барьер проходят единичные НВ толщиной не более 35 мкм

для диаметра проволоки 0,15 мм, 45 мкм – 0,20 мм и т. д. Однако, как правило, в реальном металле имеется множество мелких и более крупных НВ.

В табл. 4 и на рис. 5 приведено допустимое количество НВ в катанке определенного диаметра в зависимости от  $k_{фн}$  и диаметра готовой проволоки. Так, для диаметра готовой проволоки 0,15 мм для обеспечения  $k_{фн}$  не более 5% допустимо наличие до 50 НВ протяженностью (условного максимального размера НВ) 5 мкм, примерно 13 НВ диаметром 10 мкм, 5 НВ диаметром 15 мкм, 1 НВ диаметром 30 мкм. НВ размером более 35 мкм не допустимы. Для точного расчета предельных критерийных значений необходимо определить площадь всех недеформируемых НВ в поперечном сечении катанки и рассчитать реальное значение  $k_{фн}$ . Идеальная оценка загрязненности стали НВ, по-

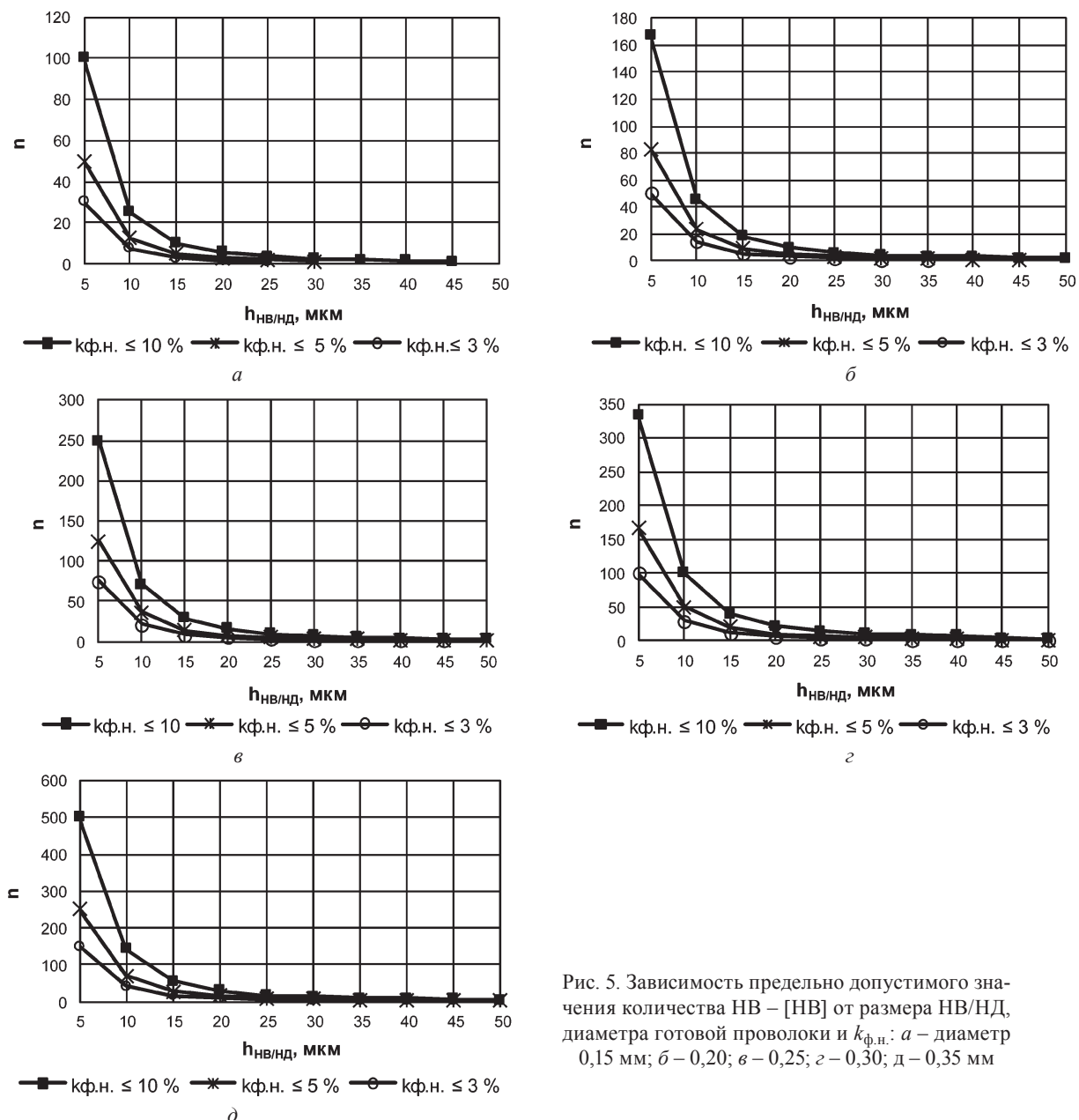


Рис. 5. Зависимость предельно допустимого значения количества НВ – [НВ] от размера НВ/НД, диаметра готовой проволоки и  $k_{фн}$ : а – диаметр 0,15 мм; б – 0,20; в – 0,25; г – 0,30; д – 0,35 мм



видимому, состоит в сочетании описанного выше метода с использованием  $k_{\text{фн}}$  и новой методики фирмы «Pirelli», ограничивающей НВ по содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### Выводы

1. С целью снижения загрязненности высокоуглеродистой стали НВ проведено опытное опробование применения полностью магниезных СК, обработки стали синтетическими шлаками при сливе металла из ДСП в СК, а также лигатурой с содержанием кальция и редкоземельных металлов. Кроме того, проанализированы методы оценки НВ и выбора критериев их нормирования.

2. Использование полностью магниезных СК дало положительный эффект – количество НВ с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  более 50% минимально и отвечает требованиям фирмы «Pirelli» для катанки под металлокорд.

3. Обработка синтетическими шлаками обеспечивает модифицирование НВ, однако необходимо применять «белые» шлаки без алюминия.

4. Лигатура на базе кальция и редкоземельных металлов не дала положительных результатов.

5. Наиболее оптимальным для оценивания НВ является сочетание  $k_{\text{фн}}$  и методики фирмы «Pirelli».

### Литература

1. Сравнительный анализ нормируемых показателей качества катанки, проволоки и проволочных изделий из углеродистой стали / А. Б. Сычков, О. В. Парусов, А. М. Нестеренко, М. А. Жигарев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 1. С. 52–55.
2. Разработка сквозной технологии производства катанки из качественной углеродистой стали в условиях ММЗ / В. В. Парусов, А. М. Нестеренко, А. Б. Сычков, Р. В. Старов, И. В. Деревянченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 2. С. 52–54.
3. О целесообразности ограничения содержания примесей цветных металлов в углеродистой катанке / Н. А. Богданов, А. В. Кутаков, А. Б. Сычков и др. // *Сталь*. 2000. № 1. С. 67–69.
4. Парусов В. В., Вилипп А. И., Сычков А. Б. Влияние примесных элементов на качество углеродистой стали // *Сталь*. 2002. № 12. С. 53–55.
5. Глубина обезуглероженного слоя на углеродистой катанке различных заводов-изготовителей / В. В. Парусов, В. А. Луценко, А. Б. Сычков, В. А. Тищенко, А. И. Сивак // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2003. № 5. С. 61–64.
6. Изменения химического состава неметаллических включений на всех этапах производства стали / Р. В. Старов, И. В. Деревянченко, В. В. Парусов и др. // *Сталь*. 2005. № 1. С. 79–82.
7. Технологичность высокоуглеродистой катанки на метизном переделе / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, В. А. Луценко и др. // *Сб. науч. тр. Стальные канаты*. Одесса: Астропринт, 2005. С. 110–115.
8. Скок Ю. Я. Повышение качества стали путем модифицирования // *Сталь*. 1992. № 8. С. 13–17.
9. Губенко С. И., Парусов В. В., Деревянченко И. В. Неметаллические включения в стали. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2005.
10. Сычков А. Б. Разработка комплексной технологии производства эффективных видов катанки из непрерывнолитой заготовки малого сечения с повышенным содержанием примесей цветных металлов и азота: Дис. ... д-ра техн. наук. Мн., 2005.
11. Обеспечение показателей качества катанки для металлокорда / В. В. Парусов, И. В. Деревянченко, А. Б. Сычков, А. М. Нестеренко // *Металлург*. 2005. № 11. С. 45–51.
12. Малиночка Я. Н., Ковальчук Г. З. Сульфиды в сталях и чугунах. М.: Металлургия, 1988.
13. Малиночка Я. Н., Титова Т. М., Курасова А. Н. Состав и структура глобулярных сульфидов в сталях с РЗМ // *Сталь*. 1986. № 4. С. 78–83.
14. Лякишев Н. П., Плинер Ю. Л., Лаппо С. И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1986.
15. Белалов Х. Н. Формирование свойств канатной проволоки // *Сб. науч. тр. Стальные канаты*. Одесса: Астропринт, 2001. С. 105–116.