ООО «Металлург»
Смоленского отделения Ассоциации литейщиков

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ С ПОМОЩЬЮ дисперсных материалов для раскисления и рафинирования сплавов

Генеральный директор,
Кандидат технических наук **Чайкин Андрей Владимирович**

О нас

ООО “Металлург” Смоленского отделения ассоциации литейщиков основано в 1998 году.

Мы выполняем:

1. **Анализ существующих технологических процессов плавки, рафинирования и модифицирования сплавов заказчика с привлечением методов статистического и регрессионного анализа.**
2. **Разработку рекомендаций по повышению качественных показателей сплавов,**
3. **Разработку оптимальных составов раскислительных и рафинирующих добавок с рациональной фасовкой.**
4. **Проведение опытно-промышленных испытаний и внедрение разработанных материалов. Представление отчетов и расчетов экономического эффекта.**
5. **Авторский надзор за технологическим процессом.**

Материалы производятся по техническим условиям, разработанными нашей компанией:

ТУ 0826–003–476473004–2001 «Модификаторы комплексные»

ТУ 171700–003–520446233–2006 «Модификатор КСК»

ТУ 1718–007–52044633-2016 «Раскислительные и рафинирующие смеси комплексные для литейного и металлургического производства»

МК МЕТАЛЛУРГ

Дуговые печи с основной футеровкой

- Раскислитель диффузионный алюмосодержащий (РДА)
- Флюс «Разжижитель шлака» (РШ)

Дуговые печи с кислой футеровкой

- Раскислители диффузионные РД21ПК и РД19ПК

Индукционные печи

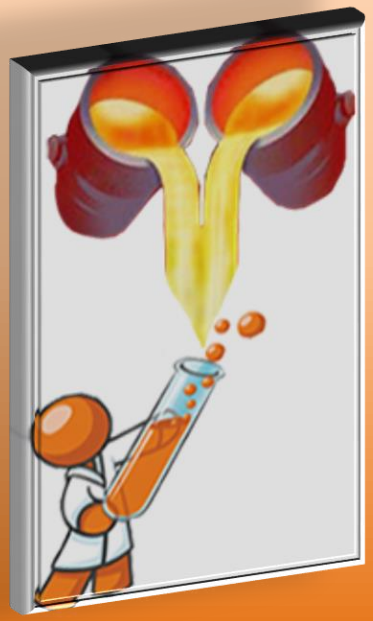
- Рафинирующая смесь КСК-кальций стронциевый карбонат
- Флюс «Антинарост»

Ковш

- Флюс «Антинарост»
- Рафинирующая смесь универсальная РСУ для внепечной обработки
- Комплексные модификаторы МК

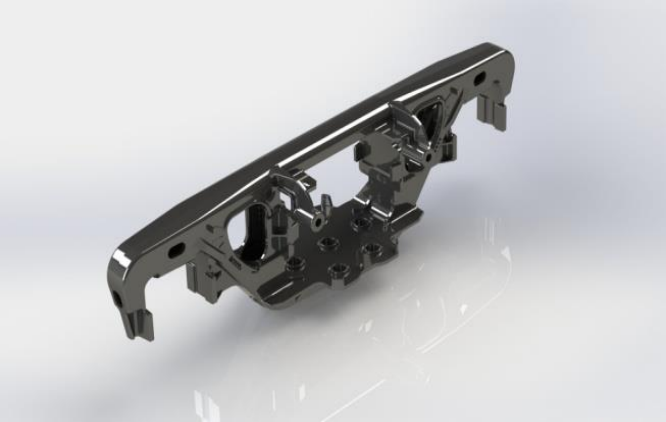
Форма

- Модификаторы МКкск19, МКмг19



Химический состав стали 20ГЛ

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Al	S	P	Cr	Ni	Cu
					Не более				
20ГЛ	0,17-0,25	0,30-0,50	0,9-1,4	0,02-0,06	0,02	0,02	0,3	0,3	0,6



Боковая рама

Надрессорная балка

Механические свойства стали 20ГЛ

Категория свойств	Предел текучести, σ_T, МПа	Временное сопротивление, σ_B, МПа	Относительное удлинение, δ, %	Относительное сужение, ψ, %	Ударная вязкость, KCV^{-60}, кДж/м^2
Показатели	343	510	18,0	30,0	200

Плавка стали на заводе

Плавка стали на заводе ведется в дуговых печах как переменного, так и постоянного тока. В данном случае появилась уникальная возможность сравнить качественные показатели стали 20ГЛ, достигаемые при выплавке в печах постоянного и переменного токов.

Для сравнительных плавок применялись однотипные шихтовые материалы. Они, в основном, состояли из лома углеродистой стали 2А, возврата собственного производства, а также ферросплавов: ферромарганца ФМн78, ФМн88, ферросилиция ФС45. Для раскисления стали применяется технический алюминий. Для проведения кипа использовали продувку кислородом. Заливку форм производили из стопорного ковша емкостью 16 тонн. Температура заливки составляет 1560 – 1590 ºС.

Диффузионное раскисление стали

шлак до раскисления РДА

шлак после раскисления РДА

Особое внимание на заводе уделяется удалению серы и восстановлению оксидов железа и марганца в шлаке. Если уменьшить концентрации оксидов в шлаке, начнется диффузионный переход кислорода и серы из металла в шлак, то есть раскисление и рафинирование металла. РДА представляет собой смесь порошков углерод-, кремний- и алюмосодержащих материалов. Основное отличие порошков заключается в том, что они получены физико-химическим путем, и обладают высокой дисперсностью, что придает смеси новые свойства. Кроме того, в состав смеси введено оптимальное количество поверхностно активных веществ, состоящих из кальций-стронциевого карбоната, соединений калия и натрия, которые придают ей жидкоподвижность и еще больше активизируют.

При подаче РДА на шлак дисперсный углеродсодержащий материал дополнительно вспенивает шлак за счет протекания реакции восстановления оксидов из шлака по реакциям:

$$2(FeO) + (C) = 2[Fe]\downarrow + \{CO\}\uparrow; \qquad 2(MnO) + (C) = 2[Mn]\downarrow + \{CO\}\uparrow.$$

Вспененный жидкоподвижный шлак экранирует дуги, способствует быстрому нагреванию шлака и металла. Таким образом, создаются идеальные условия для дальнейшего протекания реакций десульфурации и восстановления оксидов железа и марганца из шлака присутствующими в РДА алюминием и кремнием:

$$(FeS) + (CaO) = (CaS) + (FeO); \qquad 3(FeO) + 2(Al) = 3[Fe]\downarrow + (Al_2O_3);$$

$$3(MnO) + 2(Al) = 3[Mn]\downarrow + (Al_2O_3).$$

Таким образом, сокращается время восстановительного периода, экономится электроэнергия. Образующийся Al_2O_3 продолжает разжижать шлаки и повышать их основность. В результате раскисления оксиды железа и марганца восстанавливаются в шлаке и согласно закону распределения переходят в металл, а из металла в шлак уходят FeO и MnO, где восстанавливаются РДА. Сульфиды также переходят в шлак согласно закону распределения и сталь оказывается с более низкими содержаниями оксидов и серы.

Результаты статистической обработки результатов плавок, выплавленных в печи переменного тока

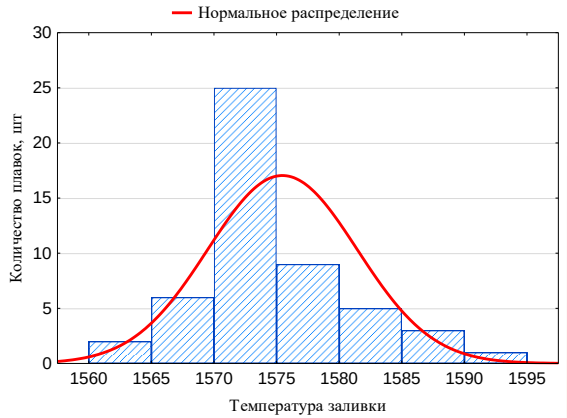
Переменные	Descriptive Statistics (ВКМ сталь 1 печь)						
	Кол. плавок	Среднее значение	Минимум	Максимум	Дисперсия	Ср. кв. отклонение	Коэф. Вариации, V, %
C, %	51	0,215	0,190	0,250	0,0003	0,01592	7,41429
Mn, %	51	1,195	1,080	1,410	0,0070	0,08372	7,00666
Si, %	51	0,387	0,300	0,570	0,0029	0,05399	13,93575
P, %	51	0,019	0,015	0,024	0,0000	0,00209	11,28713
Cr, %	51	0,161	0,080	0,370	0,0050	0,07055	43,93376
Ni, %	51	0,091	0,060	0,140	0,0003	0,01746	19,19624
Cu, %	51	0,103	0,080	0,150	0,0003	0,01657	16,03846
S, %	51	0,015	0,010	0,022	0,0000	0,00253	17,05057
Al, %	51	0,038	0,027	0,060	0,0001	0,00757	19,94351
$\sigma_{ТЕК}$	51	352,667	309,000	400,000	739,7867	27,19902	7,71239
$\sigma_{В}$	51	530,863	502,000	580,000	455,6808	21,34668	4,02113
δ, %	51	25,373	20,000	32,000	9,0384	3,00640	11,84902
Ψ, %	51	52,961	36,000	64,000	54,1184	7,35652	13,89051
KCV^{-60}, кДж/м^2	51	216,098	202,000	233,000	77,4902	8,80285	4,07355
Тзал. °С	51	1575,471	1563,000	1591,000	35,6141	5,96776	0,37879

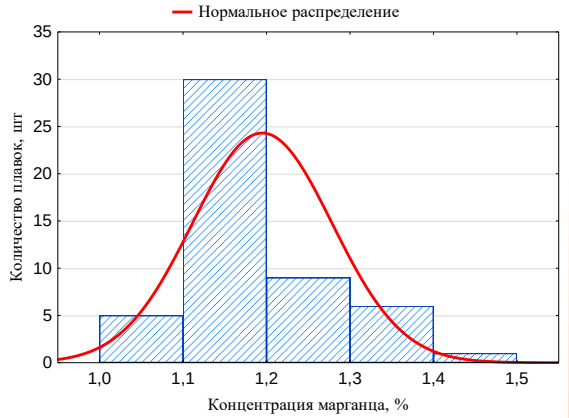
Статистические показатели качества плавок стали, выплавленных в печах постоянного тока

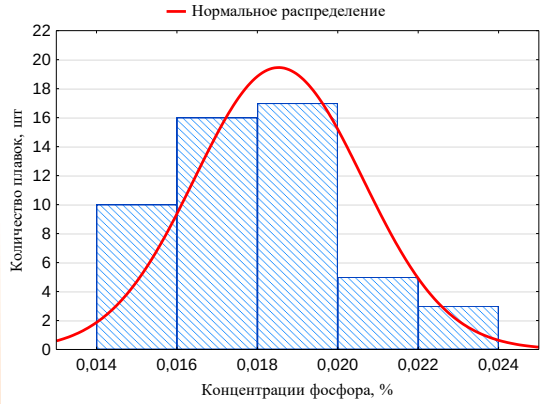
Переменные	Descriptive Statistics (STATISTICA ВКМ сталь 2 печь)						
	Кол. плавок	Среднее значение	Минимум	Максимум	Дисперсия	Ср. кв. отклонение	Коэф. Вариации, V, %
C, %	31	0,212	0,160	0,250	0,0003	0,01734	8,19379
Mn, %	31	1,166	1,060	1,330	0,0039	0,06217	5,33283
Si, %	31	0,390	0,320	0,470	0,0018	0,04239	10,85918
P, %	31	0,018	0,015	0,022	0,0000	0,00181	10,14186
Cr, %	31	0,183	0,110	0,480	0,0047	0,06837	37,38109
Ni, %	31	0,087	0,060	0,140	0,0006	0,02358	27,17147
Cu, %	31	0,096	0,080	0,110	0,0001	0,00720	7,51428
S, %	31	0,013	0,008	0,018	0,0000	0,00231	17,56164
Al, %	31	0,043	0,028	0,056	0,0000	0,00699	16,42765
$\sigma_{ТЕК}$	31	354,742	303,000	400,000	754,9978	27,47722	7,74569
$\sigma_{В}$	31	532,032	504,000	582,000	313,8989	17,71719	3,33010
δ, %	31	25,484	20,000	32,000	7,9914	2,82691	11,09292
Ψ, %	31	55,645	42,000	64,000	28,4366	5,33259	9,58321
KCV^{-60}, кДж/м^2	31	217,194	202,000	235,000	73,7613	8,58844	3,95428
Тзал. °С	31	1574,742	1565,000	1594,000	63,1978	7,94971	0,50483

Переменные	Descriptive Statistics (STATISTICA ВКМ сталь 3 печь)						
	Кол. плавок	Среднее значение	Минимум	Максимум	Дисперсия	Ср. кв. отклонение	Коэф. Вариации, V, %
C, %	21	0,209	0,190	0,250	0,000	0,01374	6,57373
Mn, %	21	1,159	1,070	1,330	0,004	0,06074	5,24030
Si, %	21	0,395	0,330	0,490	0,002	0,04118	10,43283
P, %	21	0,018	0,014	0,024	0,000	0,00230	12,94964
Cr, %	21	0,151	0,110	0,250	0,001	0,03192	21,14741
Ni, %	21	0,093	0,070	0,140	0,000	0,01494	16,01179
Cu, %	21	0,107	0,080	0,140	0,000	0,01560	14,62420
S, %	21	0,015	0,010	0,021	0,000	0,00322	21,51344
Al, %	21	0,042	0,032	0,053	0,000	0,00563	13,53828
$\sigma_{ТЕК}$	21	348,238	308,000	494,000	2765,990	52,59268	15,10251
$\sigma_{В}$	21	521,048	502,000	566,000	344,048	18,54852	3,55985
δ, %	21	24,667	18,000	32,000	14,533	3,81226	15,45511
Ψ, %	21	49,381	28,000	64,000	86,248	9,28696	18,80676
KCV^{-60}, кДж/м^2	21	214,476	193,000	240,000	107,362	10,36156	4,83110
Тзал. °С	21	1572,429	1540,000	1584,000	76,857	8,76682	0,55753

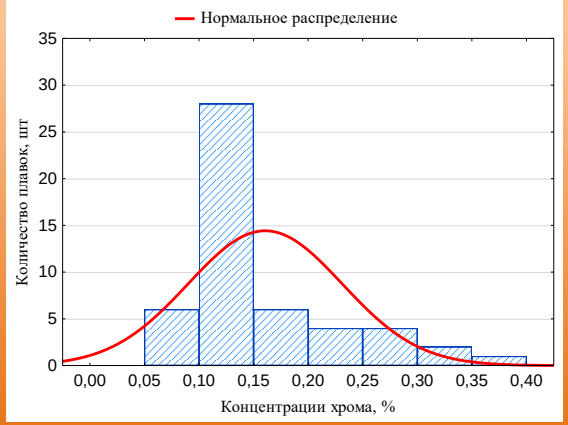
Гистограммы нормального распределения

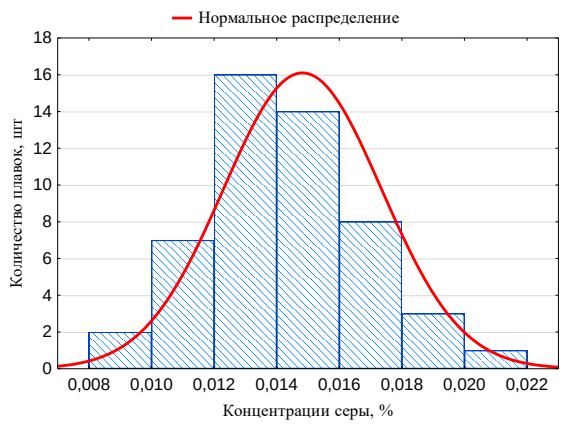


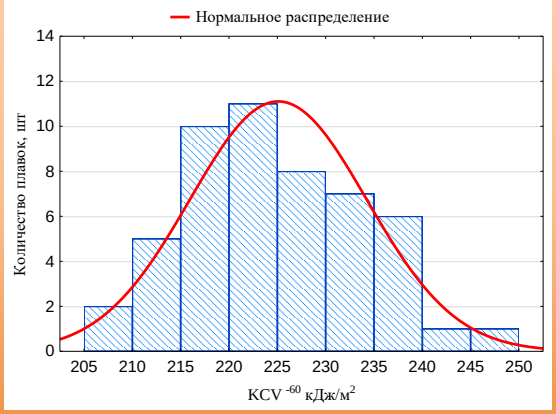




Задача сравнения качественных показателей сталей решалась статистической обработкой результатов представленных плавок, выплавленных как в печи переменного, так и постоянного тока.

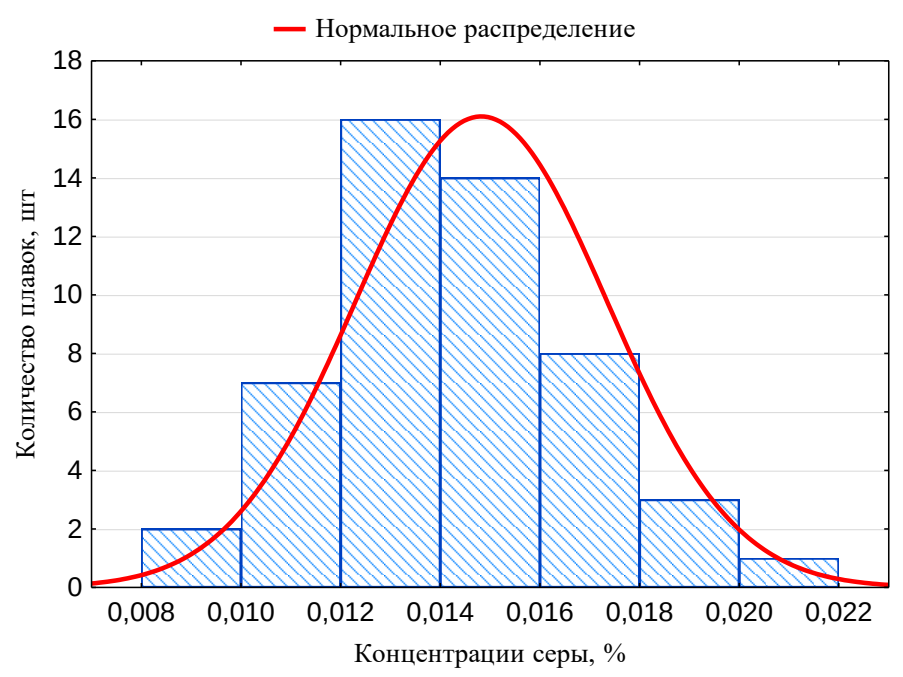


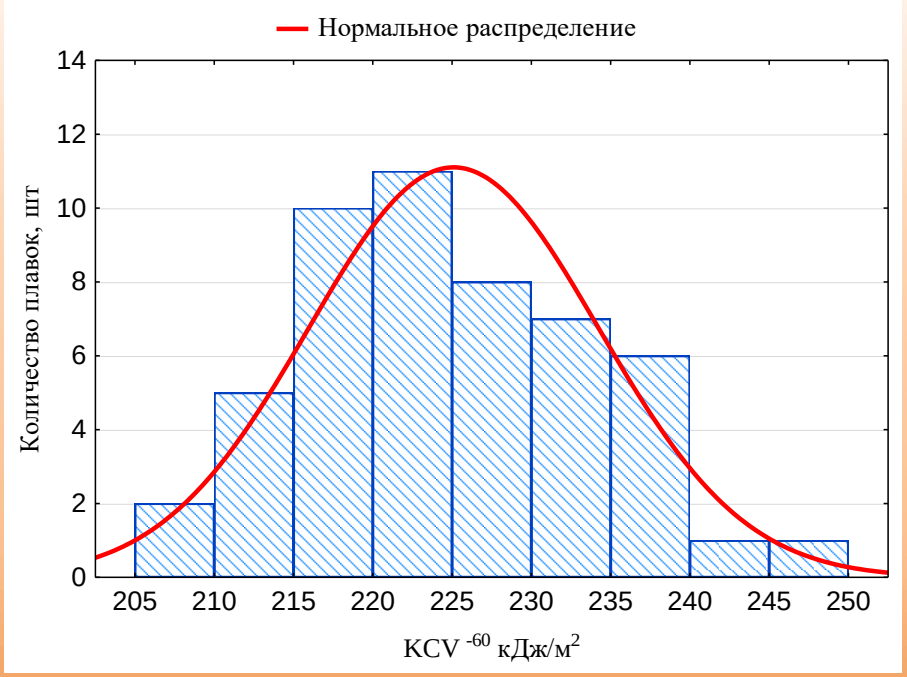




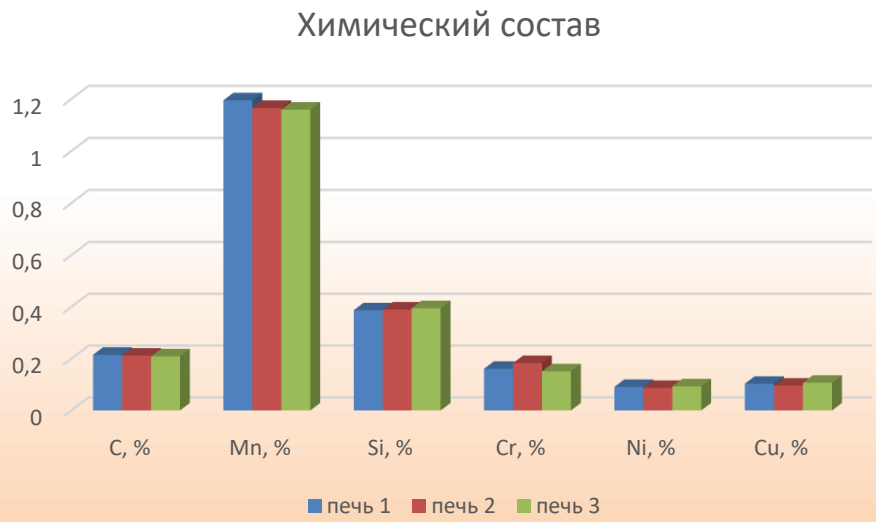
www.metallurg-ral.ru

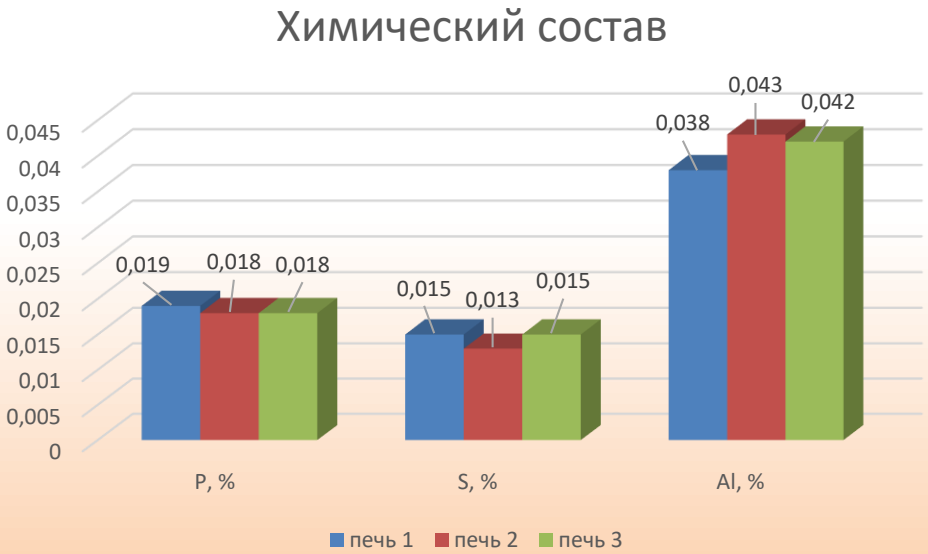
Гистограммы концентраций серы и KCV^{-60}

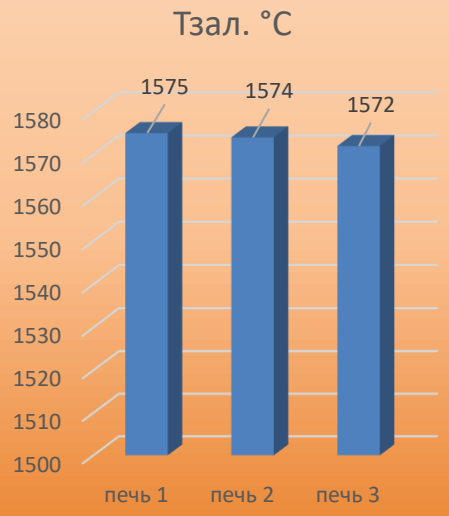




Статистическая обработка





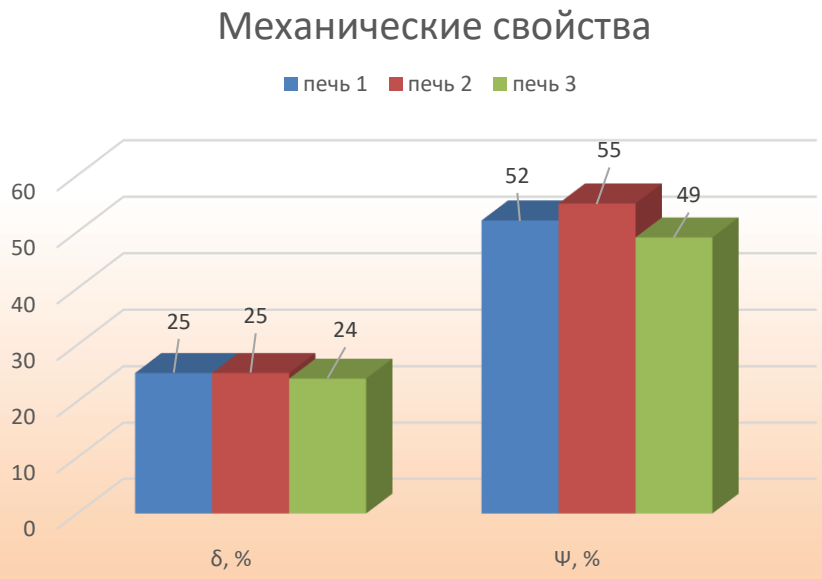


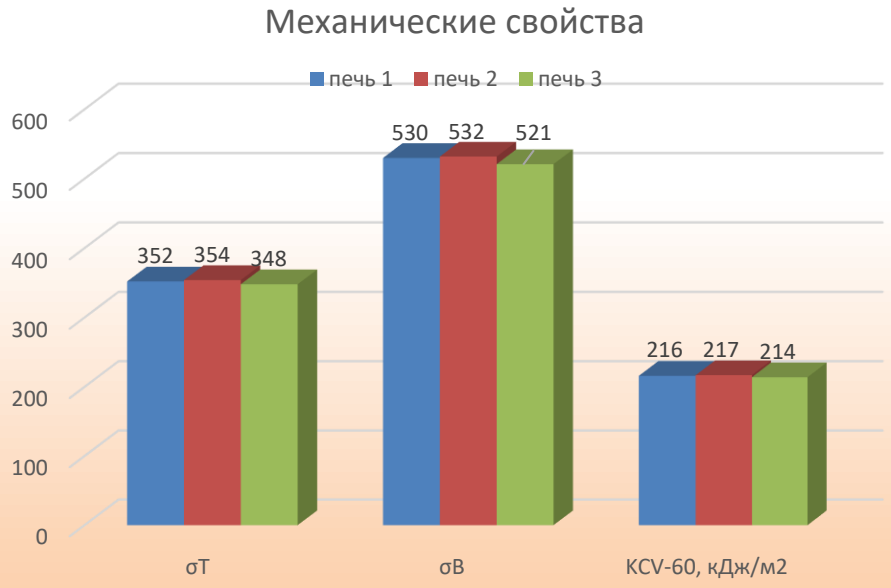
Результаты показали, что во всех случаях не зависимо от плавильного агрегата наиболее стабильна температура начала заливки стали, что дает возможность успешно бороться с браком по пригару, неспаям и недоливам.

Концентрации основных элементов , определяющих качество стали, - C, Si и Mn, - которые обеспечивают сталевары во время выплавки добавками ферросплавов, достаточно хорошо согласуются с требованиями ГОСТ. находятся в допустимых пределах и отличаются высокой стабильностью. Среднее содержание P в сталях равное 0,019% также удовлетворяет требованиям ГОСТ. Это свидетельствует о качественном проведении сталеварами окислительных периодов плавок.

Среднее содержание S в анализируемых плавках было получено в размере 0,013- 0,015 %, что существенно ниже требуемого ГОСТ 32400. При этом также было отмечено снижение в предвыпускных шлаках оксидов железа и марганца. Это свидетельствует о том, что РДА одинаково эффективно работают как на ДСП переменного тока, так и на печах постоянного тока.

Статистическая обработка





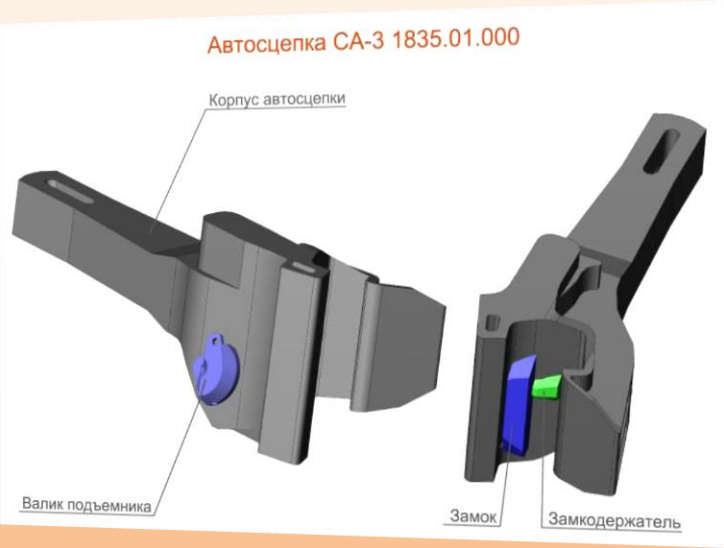
Наиболее важный показатель механических свойств для этих отливок KCV-60 также отличался высокой стабильностью, поскольку он напрямую зависит от чистоты стали по неметаллическим включениям.

И, конечно же, стоит отметить тот факт, что результаты статистического анализа показали, что качественные показатели сталей, выплавленных в печах постоянного тока сопоставимы с результатами полученными при выплавке стали в печи переменного тока №1.

Проведенные исследования показывают, что оба типа печей позволяют выплавлять сопоставимые по качеству стали с высокими механическими свойствами, обеспечивающими эксплуатационную надежность ответственных отливок.

Повышение механических свойств отливки «корпус автосцепки» внепечной обработкой стали 20ГЛ в ДСП с кислой футеровкой

Марка стали	Содержание элементов, % по массе						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	V
20ГЛ	0,17-0,25	1,10-1,40	0,30-0,50	0,30	0,30	0,30	-



Наименование и обозначение показателя	Значение показателя для деталей в зависимости от предела текучести σ_T, МПа, не менее				
	для деталей первой группы		для деталей второй группы		для деталей третьей группы
	От 450 до 500 включ.	Св. 500	От 295 до 345 включ.	Св. 345	314 и более
Временное сопротивление σ_B МПа	500	600	490	510	510
Относительное удлинение δ, %	15	12	20	18	17
Относительное сужение Ψ, %	30	25	30	25	25
KCU^{-60} Дж/см²	25	25	-	-	25
KCV^{-60} Дж/см²	15	15			

Наиболее ответственная деталь автосцепки «корпус автосцепки» относится к деталям первой группы. Корпус является основной частью автосцепки, предназначен для передачи колоссальных тяговых и ударных нагрузок, а также размещения деталей механизма сцепления. Корпус подвергаются закалке в воде и высокому отпуску

Рафинирование расплава в ковше РСУ

Особенности РСУ:

- **изготовлена на основе системы окислов CaO-$A1_2O_3$-Na_2O-CaF_2 и карбонатов $CaCO_3$ и $SrCO_3$**
- **высокая скорость формирования шлаковой фазы**
- **высокая основность**
- **низкая окисленность**
- **низкая температура плавления, вязкость и поверхностное натяжение**
- **капли РСУ аккумулируют оксиды марганца, железа, алюминия и сульфиды**
- **рафинирование и дегазация расплава**
- **повышение механических свойств стали**

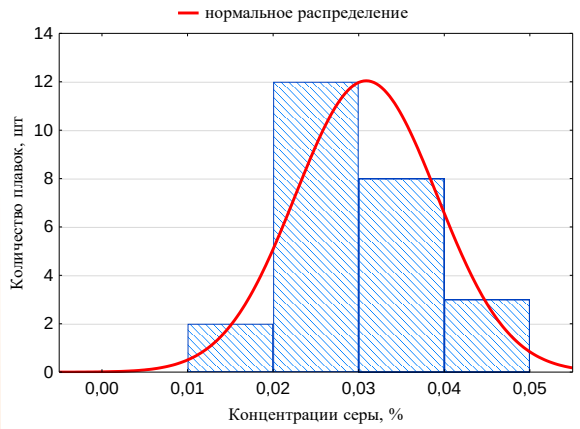
Качественные показатели улучшенных плавок стали для корпуса автосцепки до внедрения

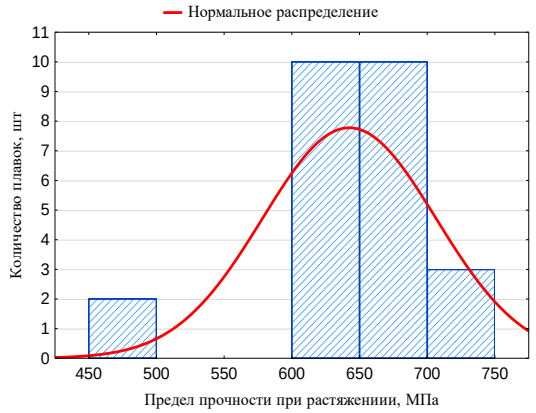
Переменные	Descriptive Statistics (STATISTICA 1 - 3 печь)						
	Кол. плавок	Среднее значение	Минимум	Максимум	Дисперсия	Ср. кв. отклонение	Коэф. Вариации, V, %
C,%	25	0,2150	0,1800	0,2500	0,001	0,02273	10,57223
Si,%	25	0,4030	0,2400	0,4800	0,004	0,06701	16,62716
Mn,%	25	1,1610	0,8300	1,3800	0,026	0,16258	14,00344
Cr,%	25	0,1100	0,0400	0,1900	0,002	0,04000	36,36364
Ni,%i	25	0,0930	0,0700	0,1400	0,001	0,02263	24,33584
S,%	25	0,0302	0,0130	0,0480	0,000	0,00851	28,17490
P,%	25	0,0247	0,0200	0,0280	0,000	0,00267	10,80465
Al,%	25	0,0364	0,0170	0,0520	0,000	0,01328	36,47403
Cu,%	25	0,1370	0,1200	0,1600	0,000	0,01636	11,94446
σ_T, МПа	25	484,8000	280,0000	566,0000	6596,178	81,21686	16,75265
σ_B, МПа	25	637,5000	486,0000	744,0000	4677,611	68,39306	10,72832
δ, %	25	18,8000	14,0000	26,0000	18,844	4,34102	23,09053
Ψ, %	25	42,0000	33,0000	54,0000	65,111	8,06915	19,21225
KCV^{-60}, Дж/см^2	25	27,5000	2,0000	37,0000	90,722	9,52482	34,63571

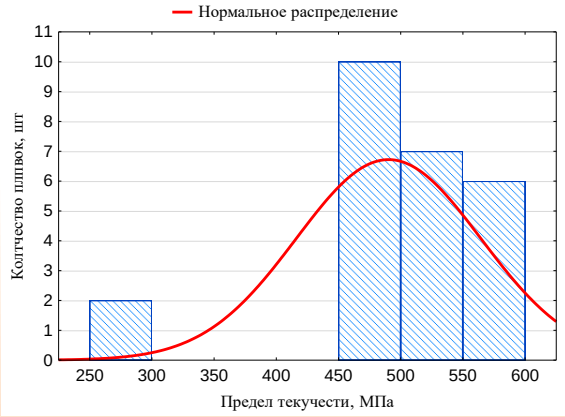
Качественные показатели улучшенных плавок стали с применением РСУ

Переменные	Descriptive Statistics (STATISTICA с РСУ 1 - 3 печь)						
	Кол. плавок	Среднее значение	Минимум	Максимум	Дисперсия	Ср. кв. отклонение	Коэф. Вариации, V, %
C,%	25	0,2088	0,1700	0,2500	0,000	0,02128	10,18964
Si,%	25	0,4880	0,4000	0,5800	0,002	0,04435	9,08752
Mn,%	25	1,2412	1,0300	1,4600	0,015	0,12384	9,97733
Cr,%	25	0,1016	0,0500	0,1500	0,001	0,02544	25,04207
Ni,%i	25	0,1116	0,0700	0,6000	0,011	0,10355	92,78557
S,%	25	0,0224	0,0120	0,0340	0,000	0,00667	29,72964
P,%	25	0,0248	0,0180	0,0310	0,000	0,00325	13,11776
Al,%	25	0,0464	0,0200	0,0600	0,000	0,01547	33,34719
Cu,%	25	0,1300	0,0900	0,2800	0,002	0,04052	31,16730
σ_T, МПа	25	551,4231	459,0000	678,0000	4086,254	63,92381	11,59252
σ_B, МПа	25	713,6923	611,0000	845,0000	4919,102	70,13631	9,82725
δ, %	25	15,6154	12,0000	24,0000	10,566	3,25056	20,81641
Ψ, %	25	32,3077	26,0000	51,0000	47,662	6,90373	21,36870
KCV^{-60}, Дж/см^2	25	23,3846	20,0000	27,0000	4,806	2,19229	9,37494

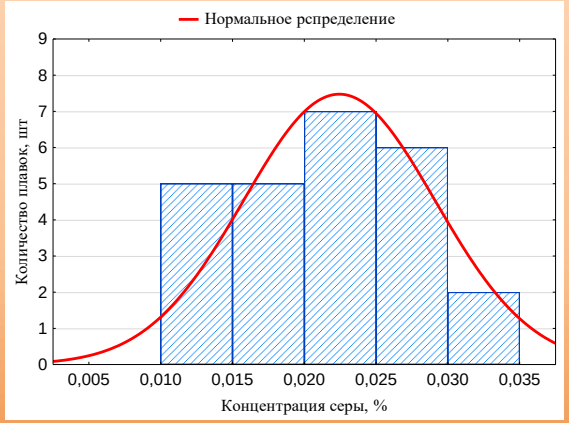
Гистограммы S, σ_T и σ_B

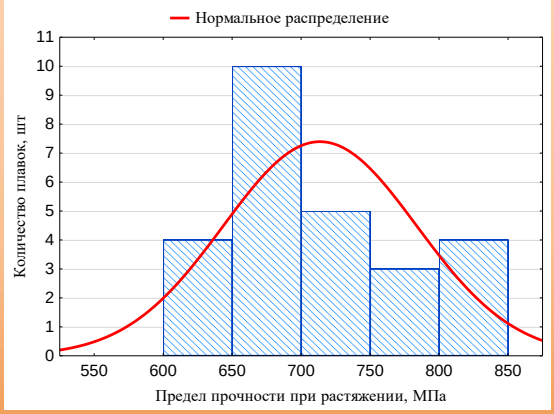


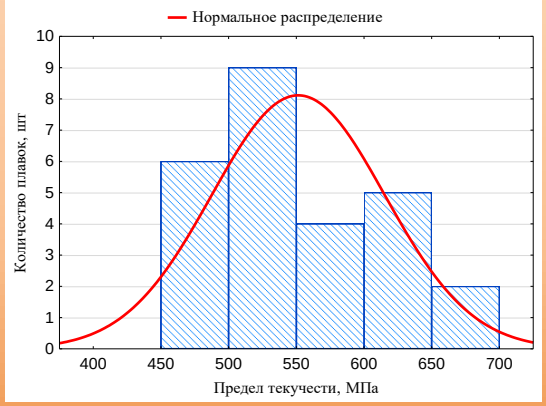




До внедрения

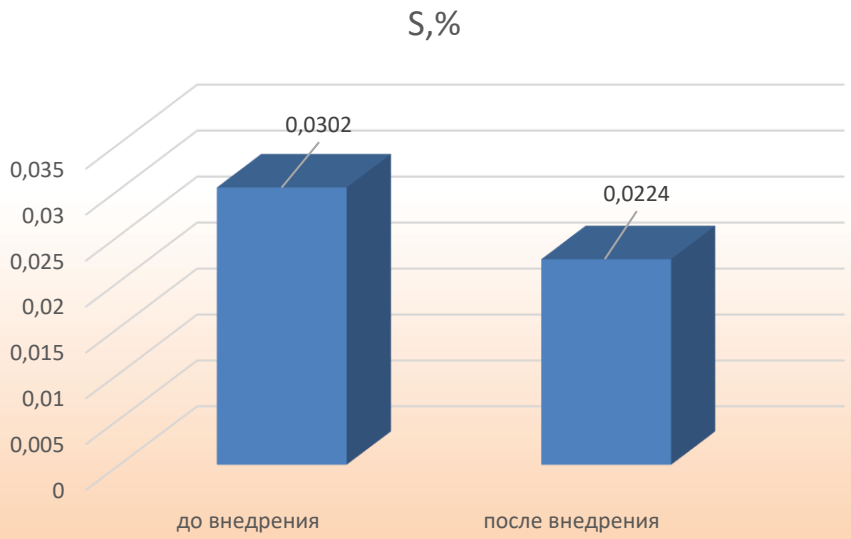


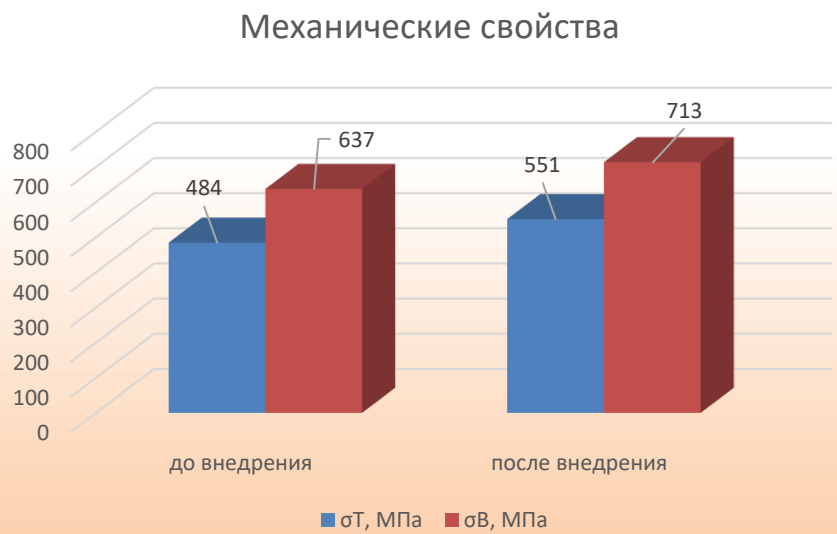




После внедрения

Статистическая обработка



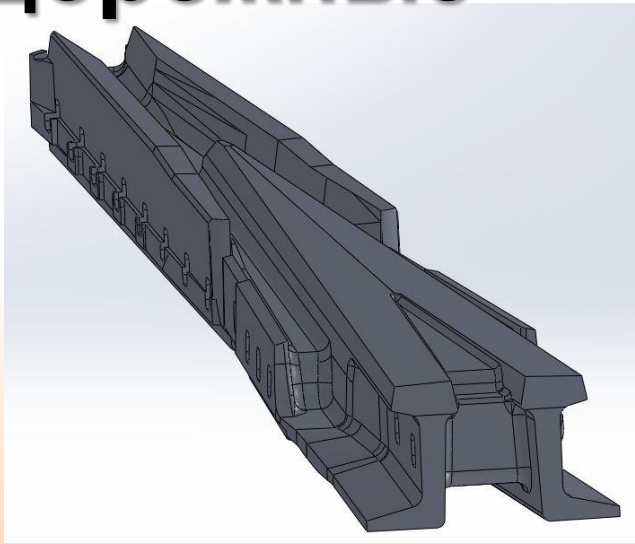


Показатели химического состава и механических свойств в среднем удовлетворяют требованиям ГОСТ 22703. Однако, до внедрения минимальные значения σT и σB в некоторых плавках ниже допустимых значений ГОСТ, а максимальные значения серы превышают допустимые. А корпус автосцепки в процессе эксплуатации как раз испытывает высокие растягивающие и сжимающие нагрузки. Потому снижение σT и σB ниже требований ГОСТ 22703 недопустимо.

Результаты статистической обработки после внедрения показали, что применение ковшовой обработки сталей 20ГЛ РСУ для отливок корпус автосцепки способствует снижению серы в расплаве в среднем с 0,0302 до 0,0204 %, то есть на 25,8%.

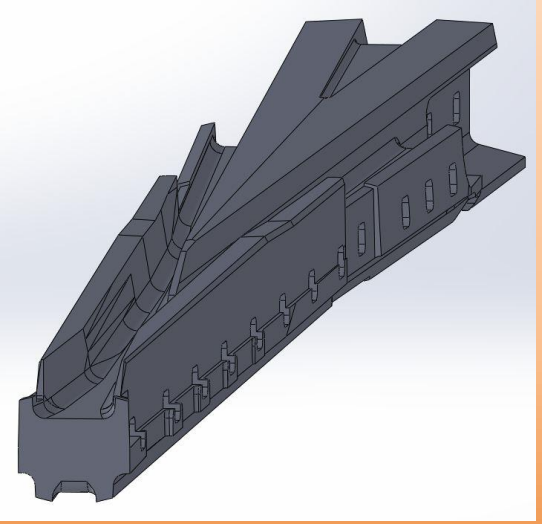
Это способствовало резкому увеличению растягивающих нагрузок. σT в среднем увеличивается с 484 до 551 Дж/см2, то есть на 12 %, а σB увеличивается с 637 до 713 Дж/см2, то есть на 11 % и повышению эксплуатационной надежности автосцепки.

Крестовины железнодорожные



Химический состав стали 110Г13Л ГОСТ 7370

Массовая доля, % по массе				
углерода	марганца	кремния	фосфора	серы
			не более	
1,00-1,30	11,50-16,50	0,30-0,90	0,090	0,020



Механические свойства стали 110Г13Л ГОСТ 7370

Наименование показателя	Значение показателя для металла группы		
	1	2	3
Временное сопротивление, Н/мм (кгс/мм)	Более 883 (90)	Более 785 (80) до 883 (90) включ.	Более 687 (70) до 785 (80) включ.
Предел текучести, Н/мм (кгс/мм), не менее	353 (36)	353 (36)	353 (36)
Относительное удлинение, %	Более 30	Более 25 до 30 включительно	Более 16 до 25 включительно
Относительное сужение, %	Более 27	Более 22 до 27 включительно	Более 16 до 22 включительно
Ударная вязкость KCU, Дж/см(кгс·м/см)	Более 245 (25,0)	Более 196 (20) до 245 (25) включительно	Более 167 (17) до 196 (20) включительно

Три направления совершенствования выплавки стали методом переплава

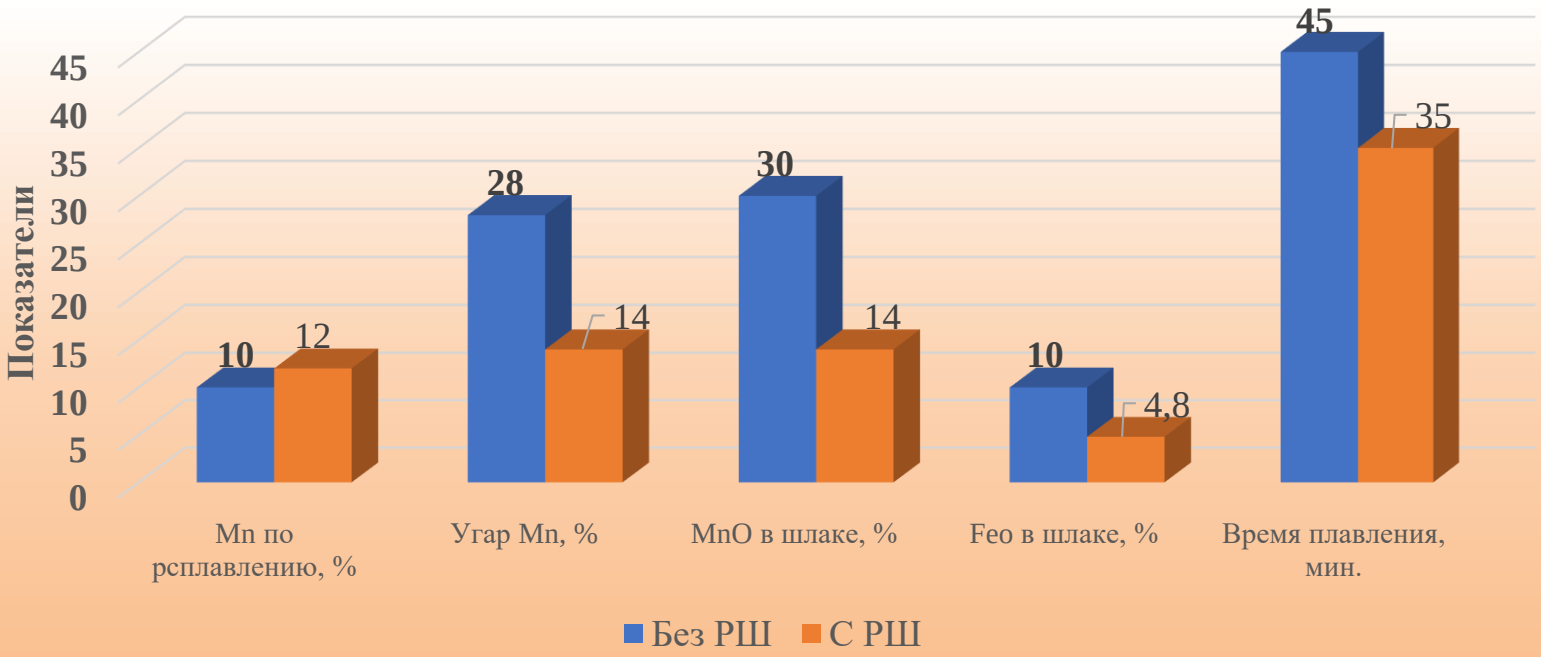
Ранее наведение шлака ← **Флюс «Разжижитель шлака» (РШ)**

Для раннего наведения шлака во время плавления шихты на подину загружали известняк в количестве 50 кг/т жидкого и по его поверхности равномерно распределяли флюс «разжижитель шлака» (РШ) в количестве 5 кг/т жидкого. Основу РШ составляет дисперсный кальций-стронциевый карбонат, который повышает основность шлаков. В его состав введены компоненты, снижающие температуру плавления, которая за счёт этого равна 1197 °С. При использовании РШ электрические дуги начинают гореть более устойчиво, монотонно и тихо, что свидетельствует о том, что в колодцах, прорезаемых электродами, появлялся шлак. Он заполняет колодцы значительно раньше, чем в рядовых плавках. Наведенный шлак экранирует дуги в колодцах. Экранирование дуг в колодцах жидкоподвижным шлаком способствует ускоренному нагреванию шлака и металла, снижению тепловых потерь и, соответственно, уменьшению времени плавления шихты и экономии электроэнергии. Время расплавления шихты уменьшилось на 10 минут. Кроме того, немаловажно, что после заполнения шлаком колодцев прекращался контакт плавящейся шихты с кислородом воздуха, что снижало угар марганца и других элементов и приводило к экономии ферромарганца.

Качественное диффузионное раскисление ← **Раскислитель диффузионный алюмосодержащий (РДА)**

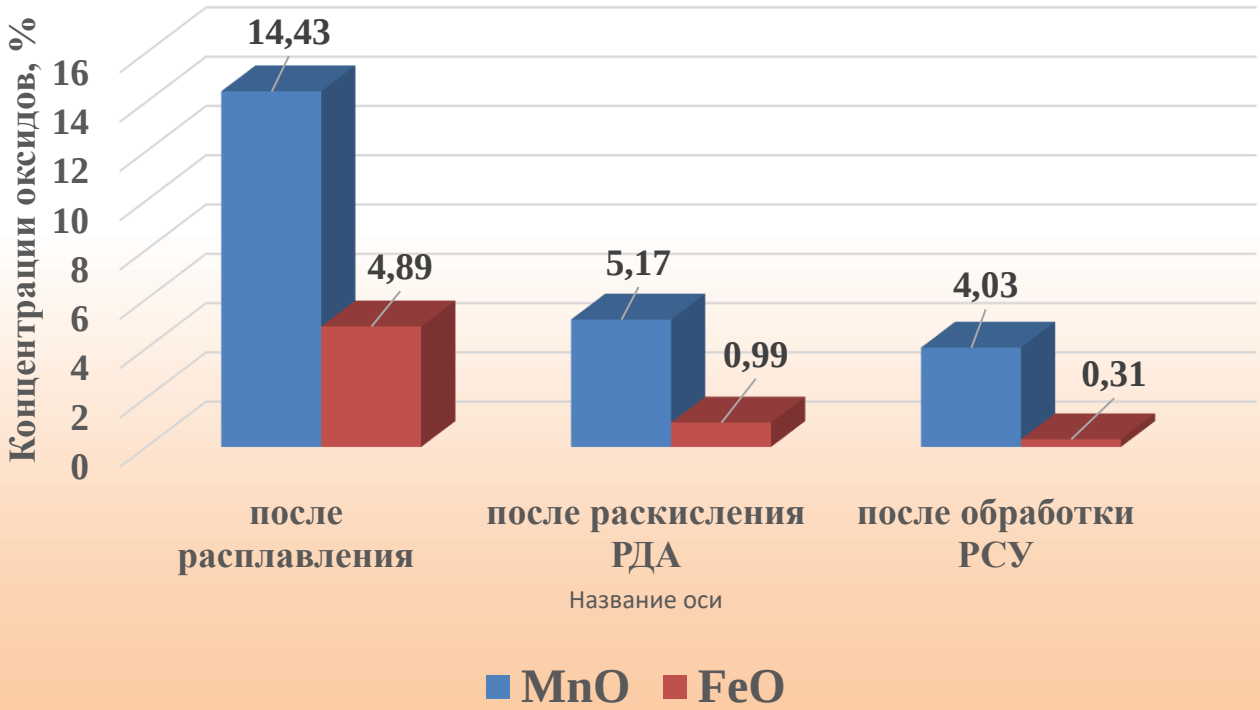
Внепечная обработка расплава в ковше ← **Рафинирующая смесь универсальная (РСУ)**

Влияние раннего наведения шлака на показатели процесса плавления шихты



В результате внедрения на заводе резко снизился угар марганца в 2 раза ¬ с 28 до 14 %, уменьшилось время плавления шихты на 10 минут, концентрации оксидов марганца по расплавлению снизились с 30 до 14 %, а оксидов железа с 10 до 5%.

Концентрации MnO и FeO на различных этапах плпаки

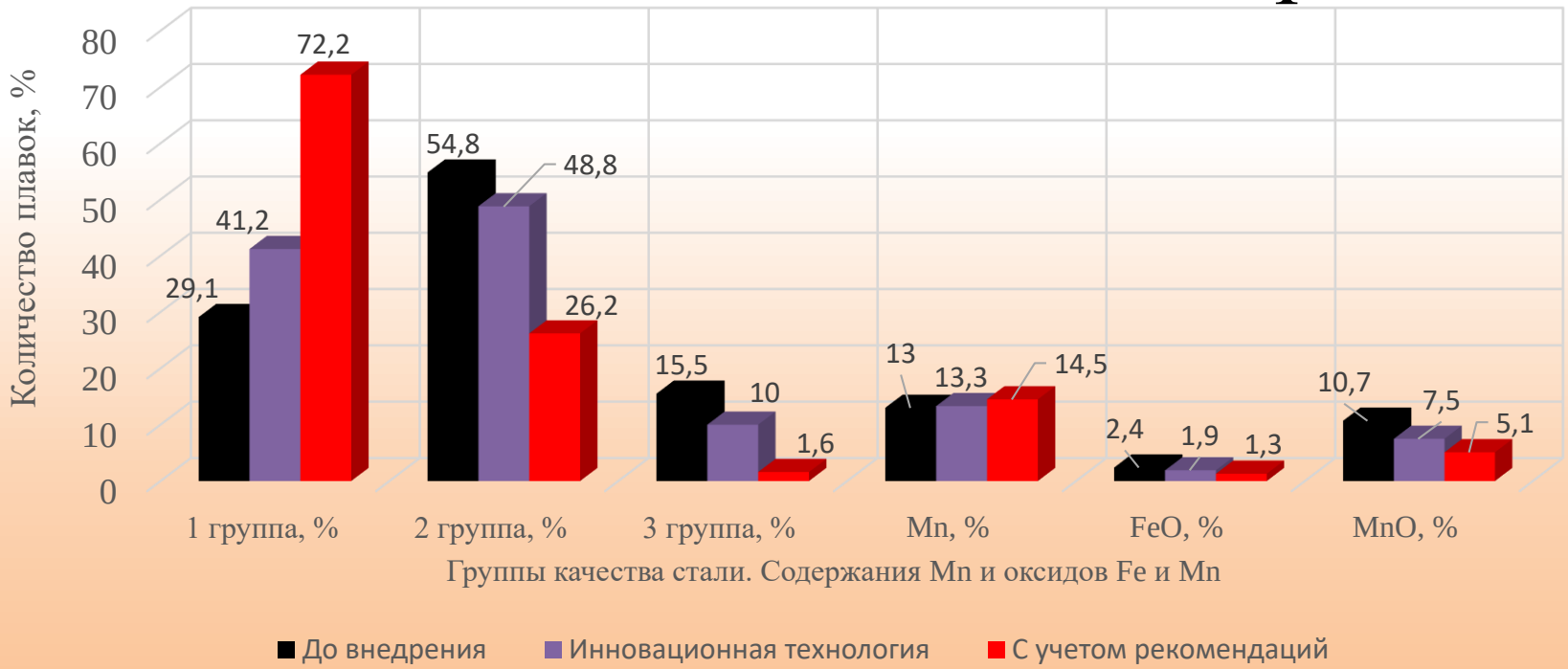


Шлаки

до **РДА**

после РДА

Зависимость качественных показателей стали от технологического процесса



В результате внедренная технология обеспечила требуемую микроструктуру и механические свойства. Результаты статистической обработки до и после внедрения показали, что концентрации FeO в шлаке в среднем уменьшились с 2,4 до 1,3 % то есть на 45 %, MnO в шлаке сократилось более существенно с 10,7 до 5,1 % то есть на 52 %. В результате шлаки получаются высокоосновными и реакционноспособными.

Количество плавок третей группы снизилось до 1,6%, т.е. до единичных случаев, а первой группы увеличилось до 72 %

Выводы

– экономится до 10-15% ферросилиция, ферромарганца и других ферросплавов;

– экономится электроэнергия;

– повышаются механические свойства, особенно ударная вязкость;

– повышается жидкотекучесть стали за счет уменьшения в ней FeO и MnO, неметаллических включений и окисных плен;

– снижается температура заливки металла на 10-20°С;

– сокращается время плавки за счет более быстрого нагрева металла;

– раскислители за короткий промежуток времени равномерно распределяются по поверхности шлака, увеличивая его сульфидоемкость и реакционную способность;

– свод печи предохраняется от прямого излучения дуги.

– устраняется образование «козлов» и наростов в ковшах, повышается срок службы ковшей;

– уменьшается пригар на отливках, снижается трудоемкость его удаления;

– из расплава удаляются вредные газы и неметаллические включения (оксиды марганца, железа, алюминия, сульфиды и др.);

– повышается гомогенность расплава, измельчается микроструктура стали;

– уменьшается брак по газовым раковинам, неметаллическим включениям и недоливам;

– уменьшается период плавления шихты;

– уменьшается угар марганца и железа во время плавления;

–устраняется зарастание шлаками подовых электродов и повышается устойчивость горения дуги в дуговых печах постоянного тока.

Основные предприятия

Применяющие нашу продукцию при плавке черных сплавов:

- Рубцовский филиал АО «Алтайвагон», г. Рубцовск;
- АО «Тихвинский вагоностроительный завод», г. Тихвин;
- ПАО «Михайловский ГОК», г. Железногорск;
- ПАО «Оскольский завод металлургического машиностроения», г. Старый Оскол;
- ПАО «Чебоксарский агрегатный завод», г. Чебоксары;
- АО «Керченский металлургический завод»;
- АО «Копейский машиностроительный завод», г. Копейск
- ООО «ВКМ-сталь», г. Саранск;
- АО «Муромский стрелочный завод»
- АО «ПО «Бежицкая сталь», г. Брянск
- АО «Балаково-Центролит»
- ООО «Промлит», г. Чебоксары;

Применяющие нашу продукцию при плавке цветных сплавов:

- ОАО «Пневмоаппарат», г. Орёл;
- АО "Зеленодольский завод имени А.М.Горького"
- ООО «Соликамский опытно-металлургический завод»;
- ООО "Терра Моторс", г. Мозырь, респ. Беларусь;
- ОАО «Уралэлектро», г.Медногорск;
- ОАО «Новогрудский завод газовой аппаратуры»;
- ООО "Энерготехпром", Курск;
- ЗАО «Чебоксарское предприятие «Сеспель»

Спасибо за внимание!

Наведите камеру смартфона на QR-код для сохранения контактов

Чайкин Андрей Владимирович
Генеральный директор ООО «Металлург»
Смоленского отделения Ассоциации литейщиков
Кандидат технических наук
Моб/ Whatsapp/ Viber/Telegram: +79043625583
E-mail: a.chaykin@metallurg-ral.ru
Тел./факс: +7(48143) 5-37-80