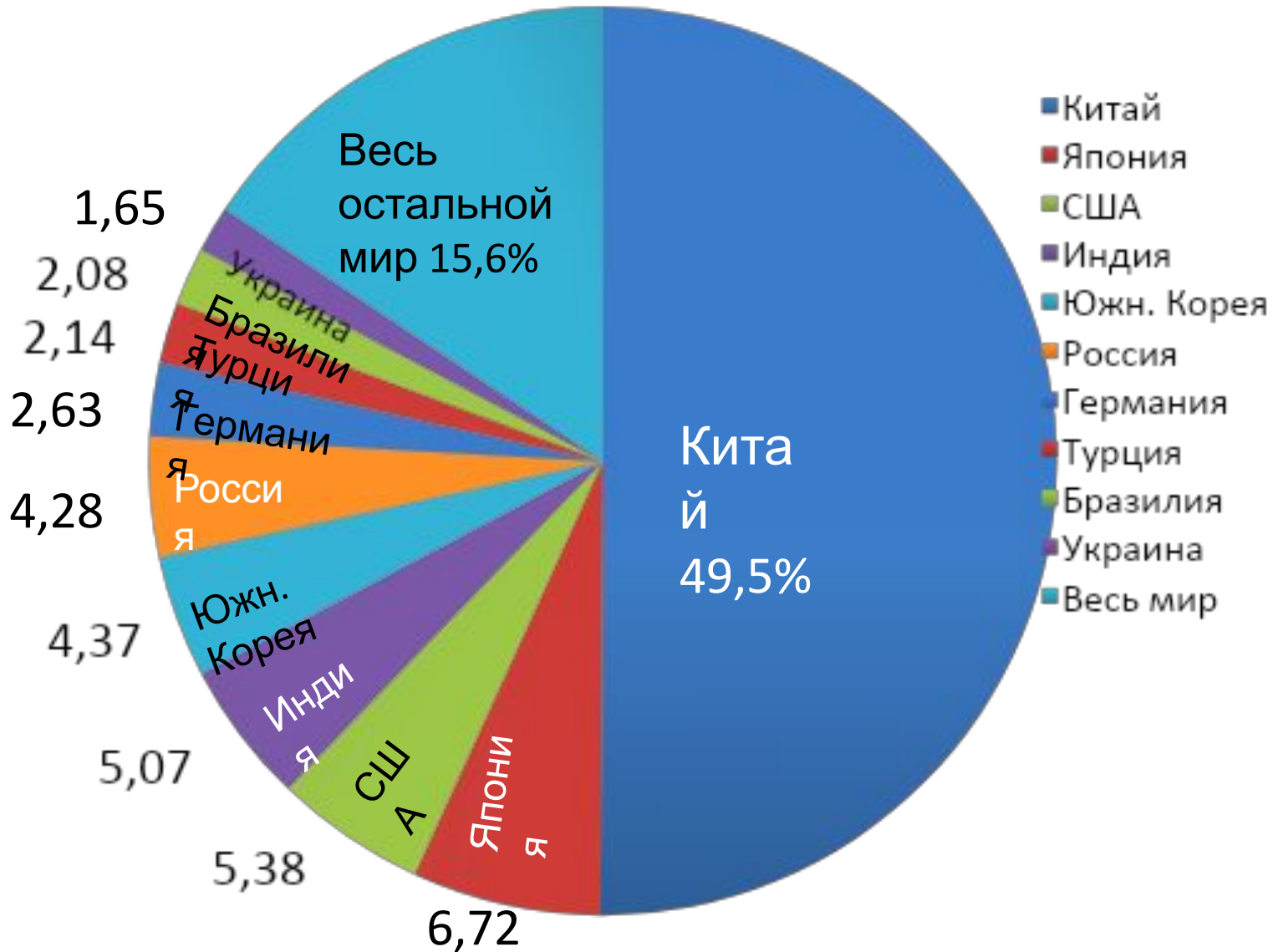
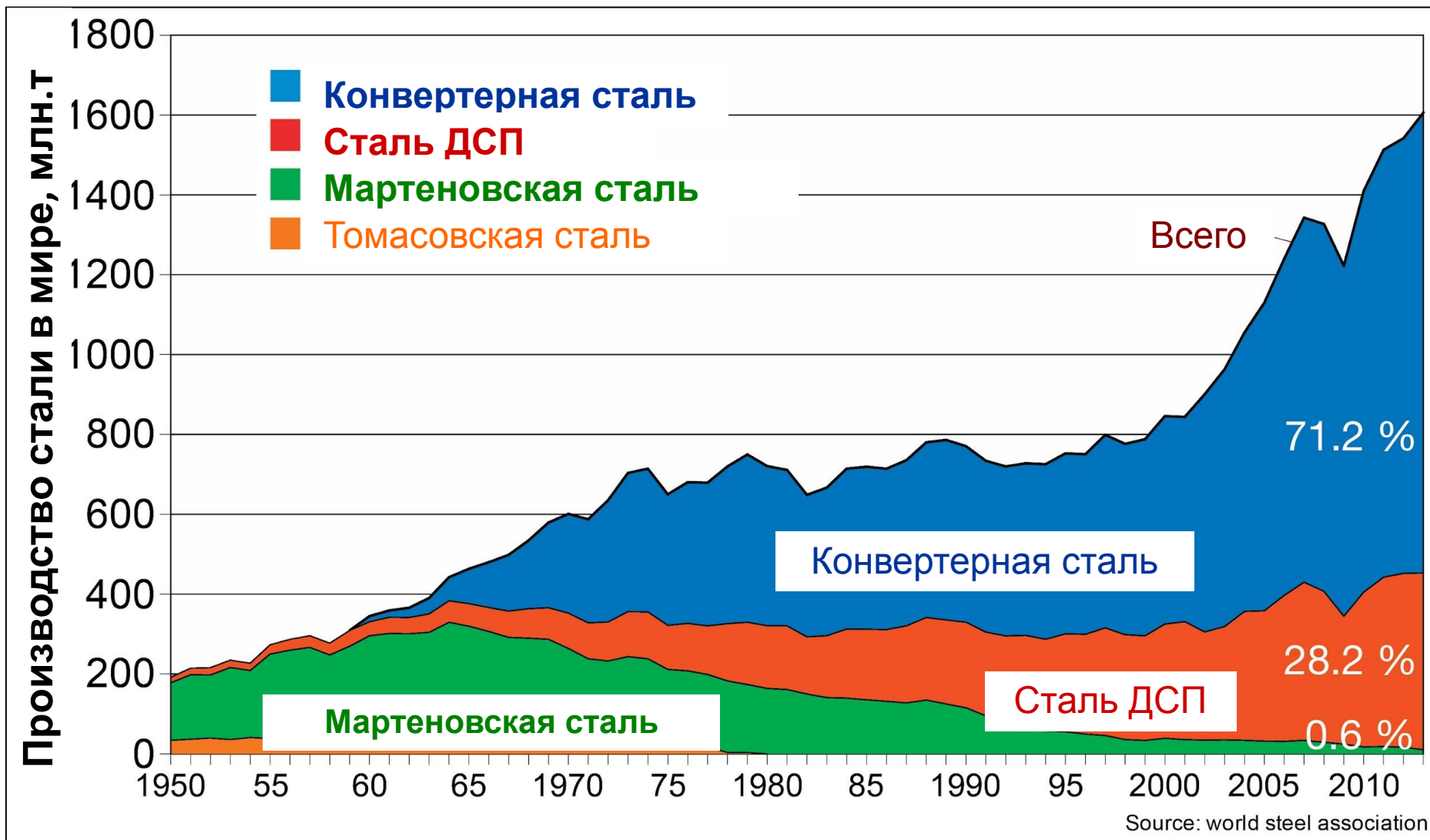


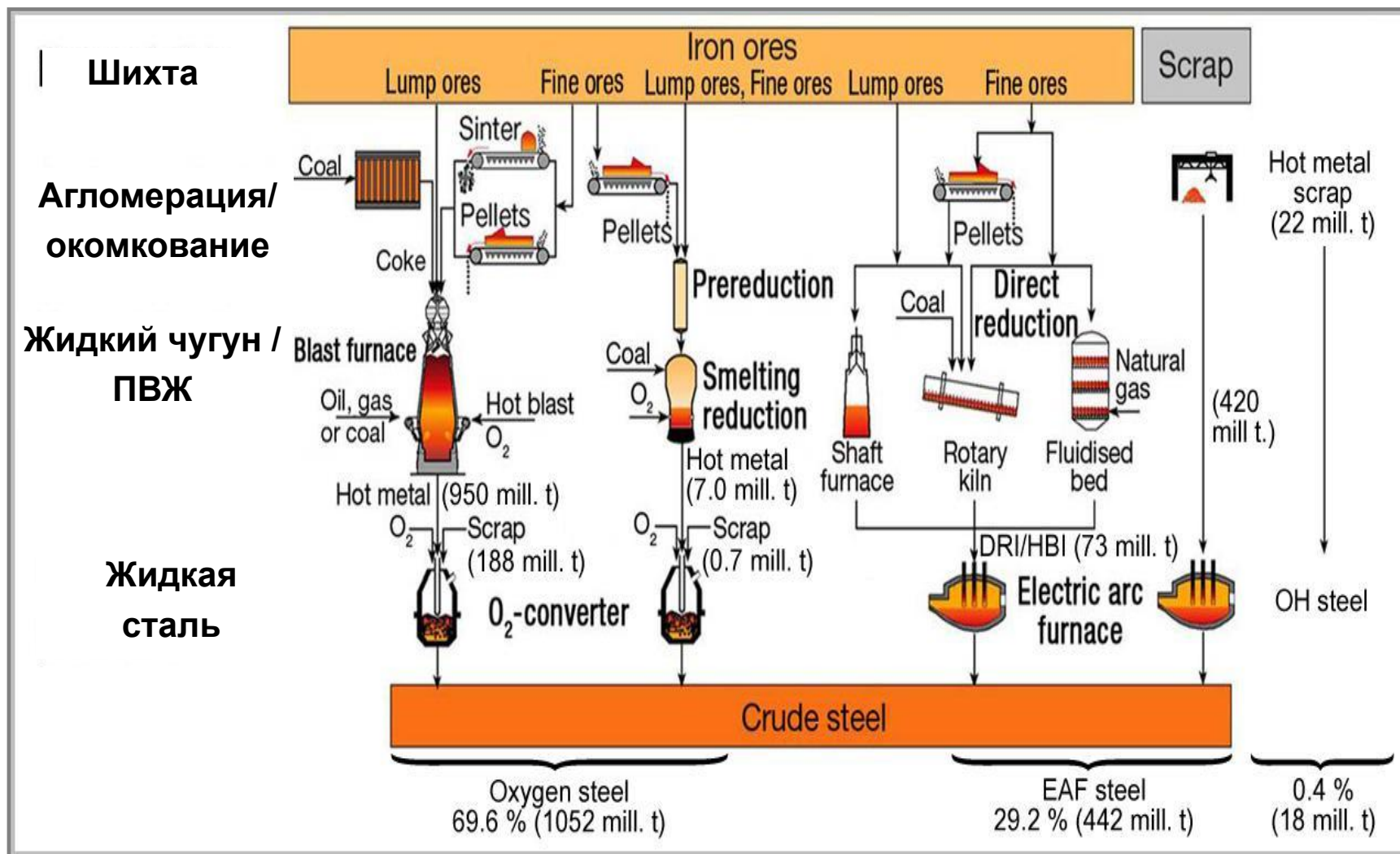
Структура производства стали в 2015 г.% всего произведено в мире 1 622,8 млн.т



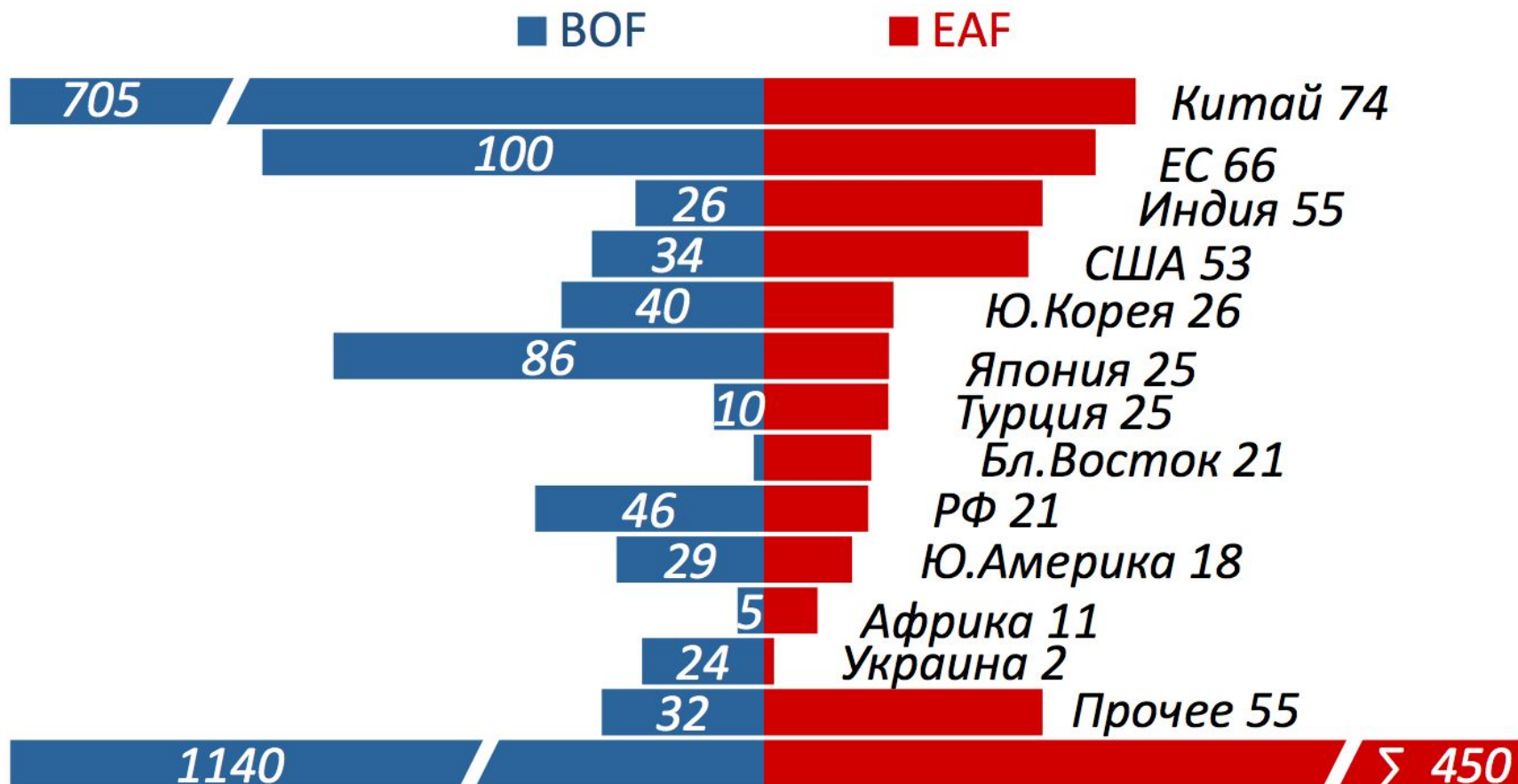
Производство стали в мире по способам производства, млн.т



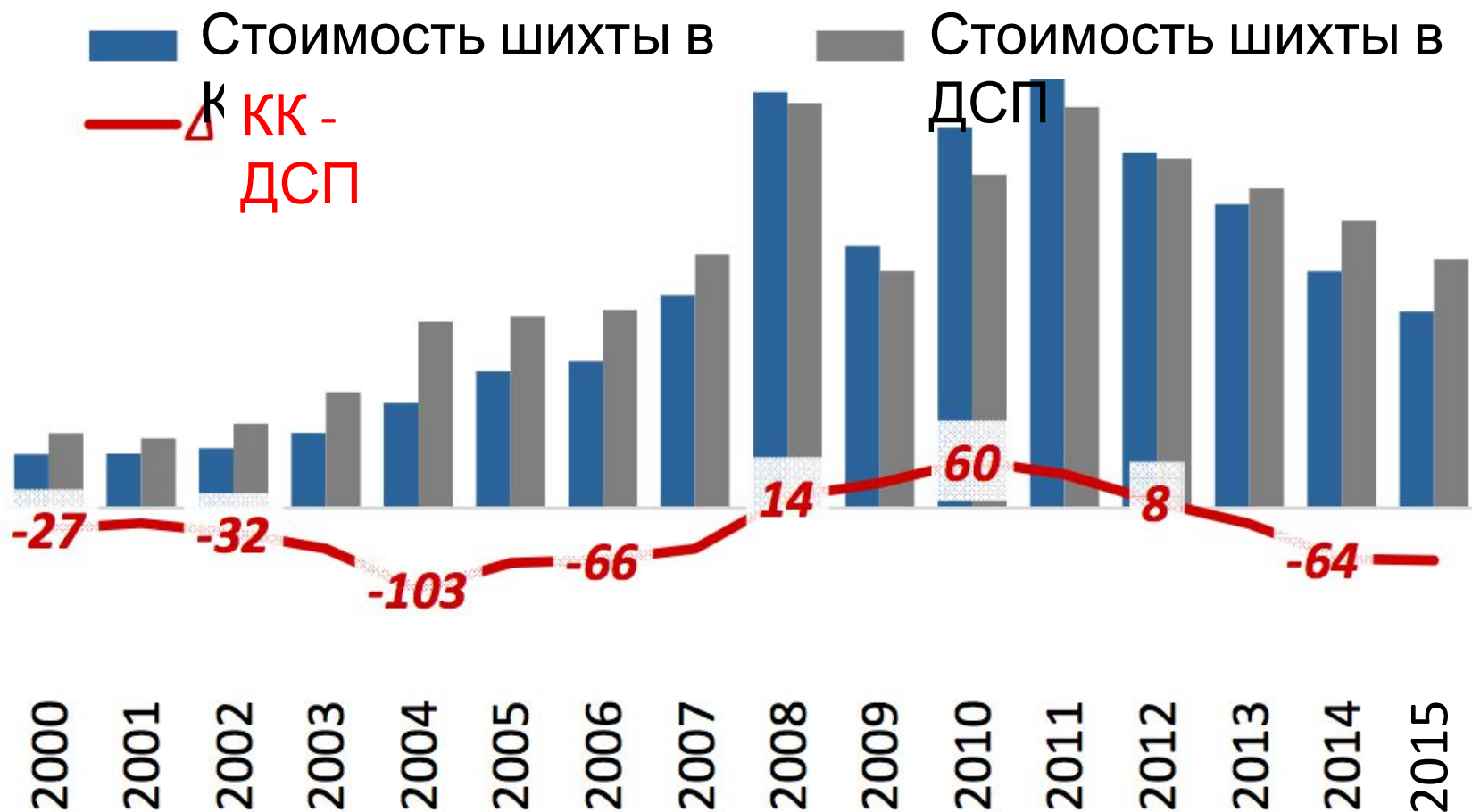
Технологические этапы выплавки стали в мире, 2011 г.



Структура выплавки стали в мире в 2014г, млн.т по способам производства



Изменение себестоимости выплавки стали в КК и ДСП

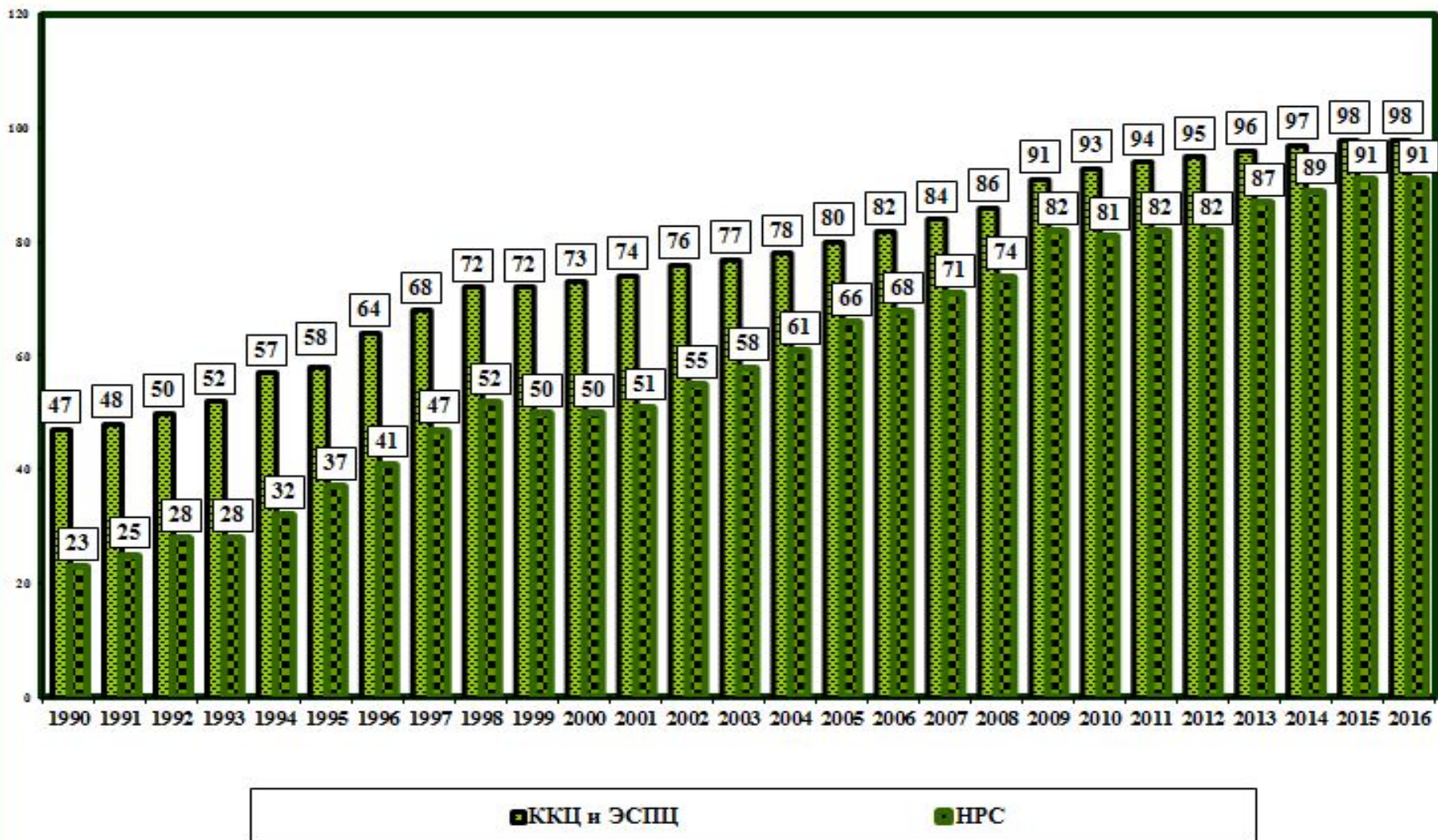


Снижение цен на уголь, ЖРС, лом и шихтовые материалы делает себестоимость выплавки стали в КК на 60-80 \$ дешевле чем в ДСП

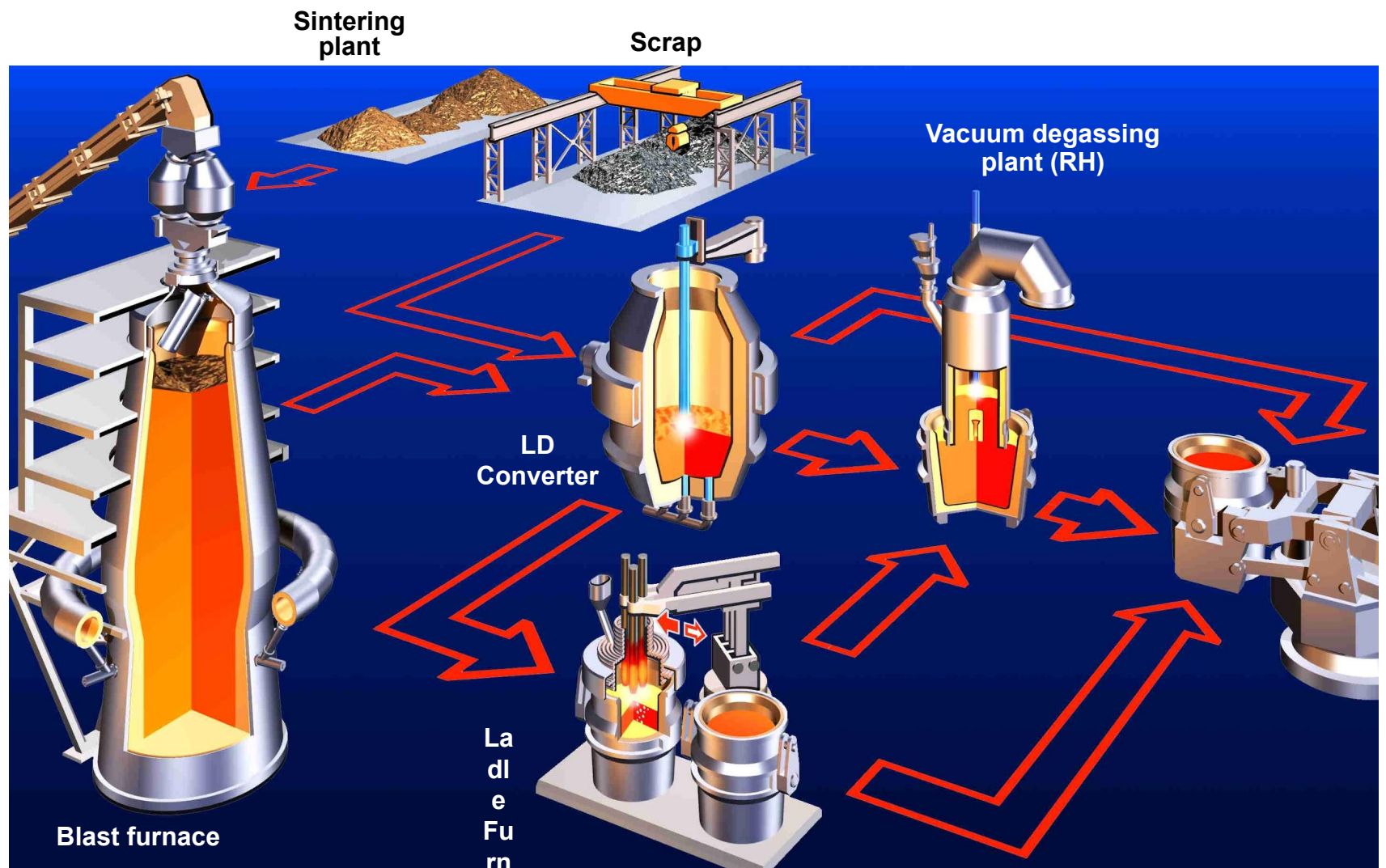
Показатели сталеплавильного производства, млн.т, %

Показатели	Годы					
	2000	2013	2014	2015	2016	
					8 мес.	год (оценка)
Производство стали	59,2/100	68,9/100	70,6/100,0	69,4/100,0	46,3/100	68,0/100
в том числе:						
Конвертерной	34,3/57,9	46,0/66,7	46,7/66,1	47,0/67,7	30,9/66,7	45,4/66,7
Электростали	8,7/14,7	20,4/29,6	21,9/31,0	20,7/29,8	14,5/31,4	21,3/31,4
Мартеновской	16,2/27,4	2,5/3,7	2,0/2,9	1,7/2,5	0,9/1,9	1,3/1,9
Непрерывная разливка стали	29,6/50,0	60,2/87,3	63,0/89,2	64,1/91,4	42,3/91,4	62,2/91,5

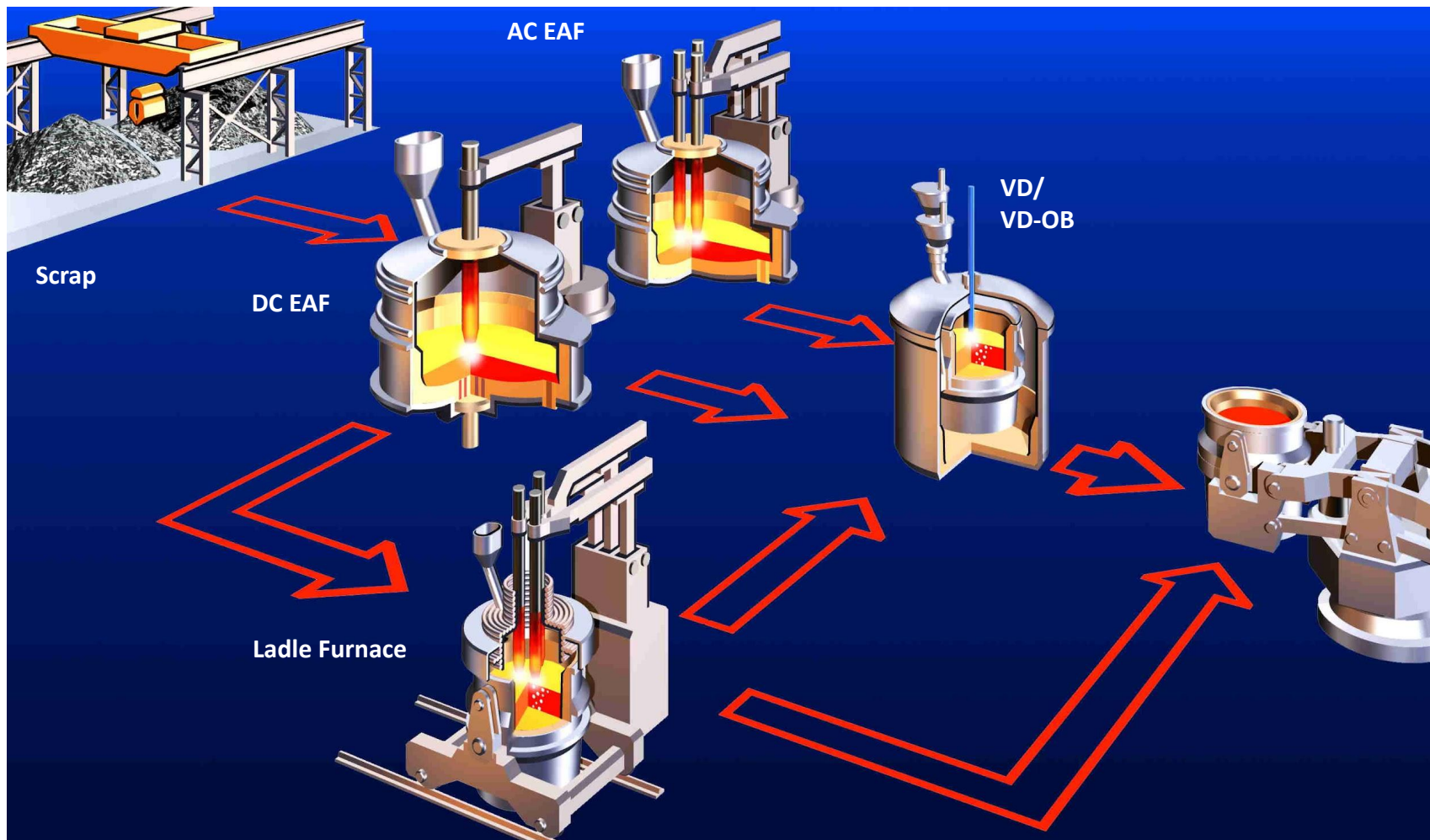
Удельный вес производства конвертерной и электростали и непрерывной разливки стали в общем объеме выплавки стали, %



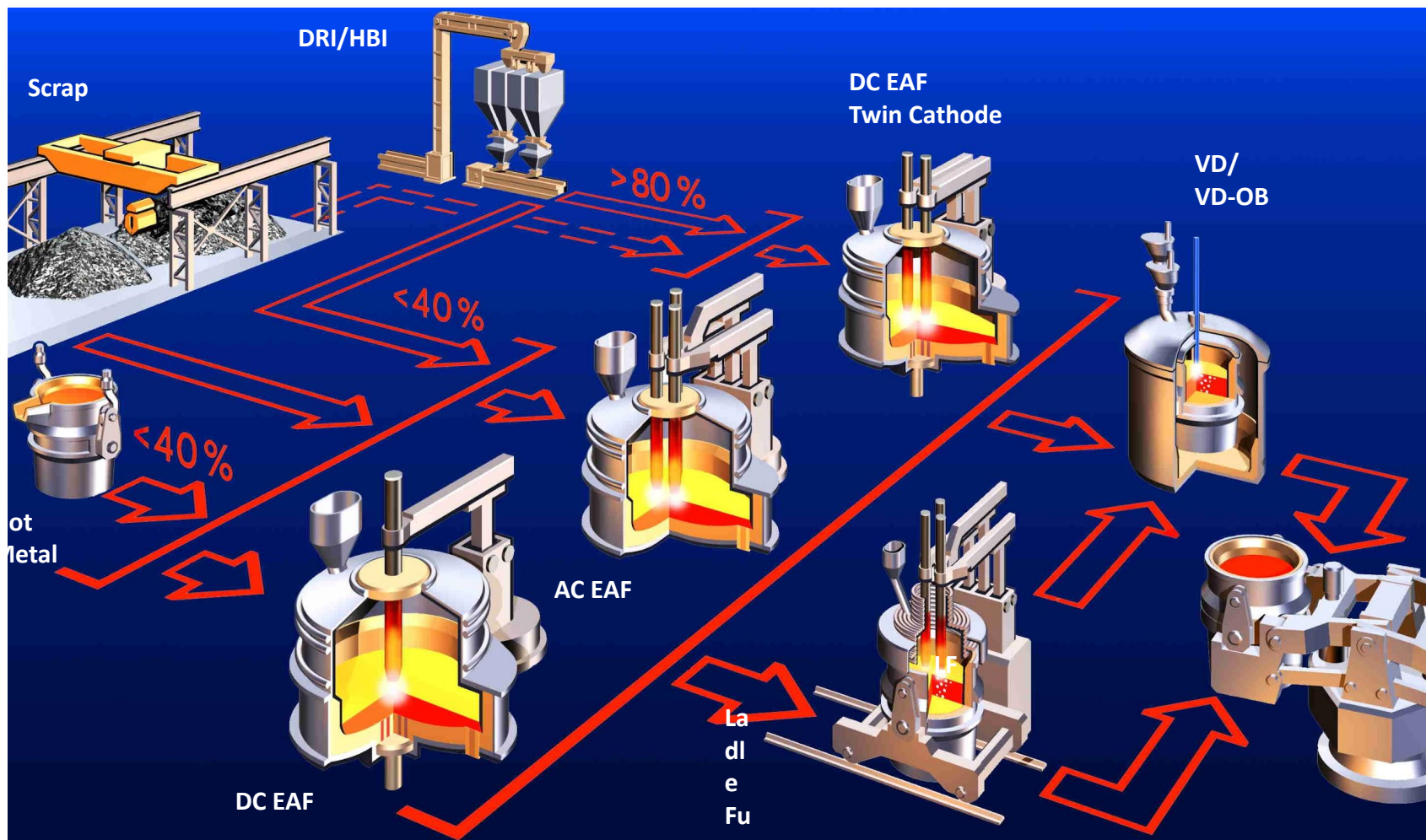
Технологическая схема производства стали кислородно-конвертерным способом



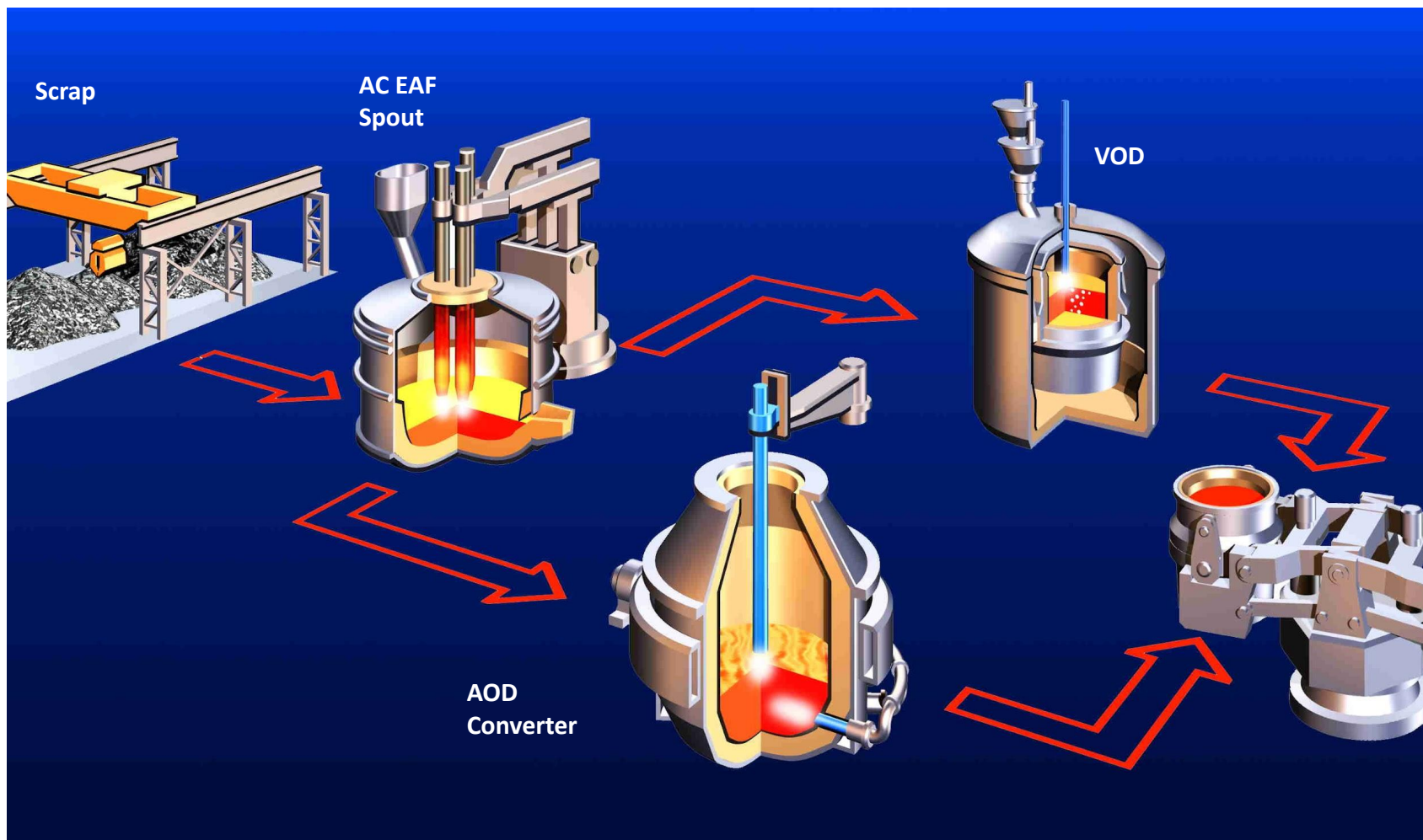
Технологическая схема производства электростали из стального лома



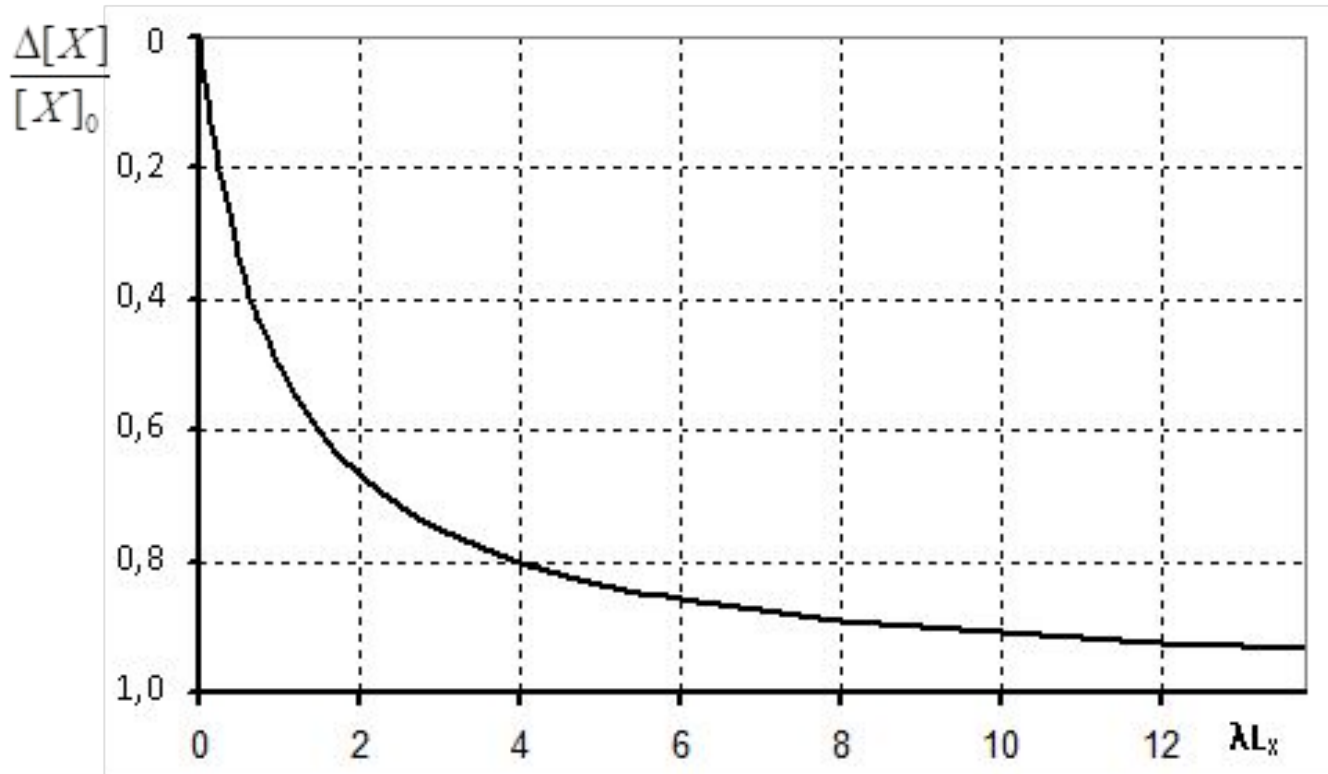
Технологическая схема производства электростали с использованием жидкого чугуна и металлизированного сырья



Технологическая схема производства нержавеющей сталей

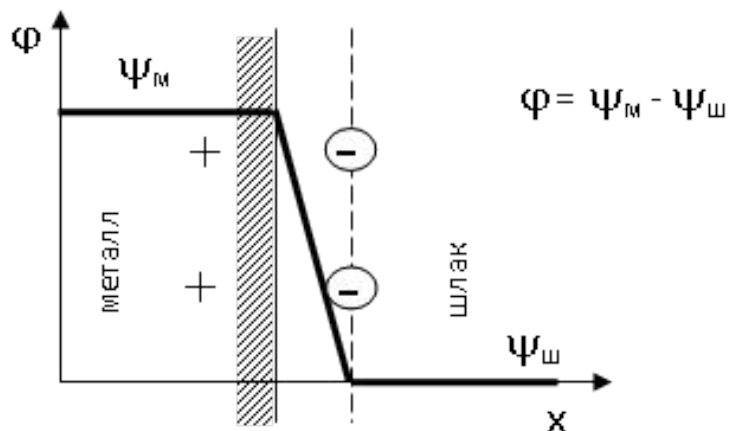


Зависимость степени удаления примеси от
параметра λL_X

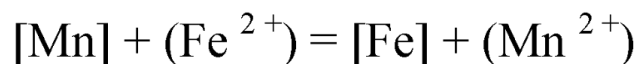
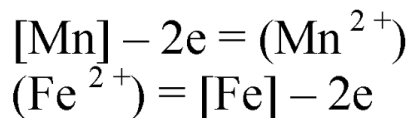
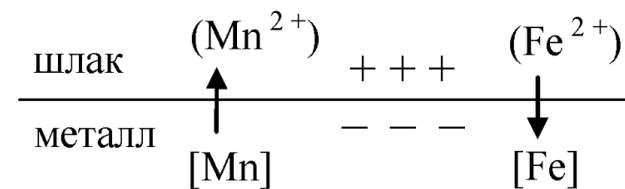
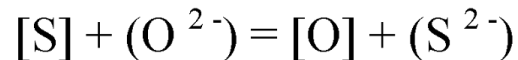
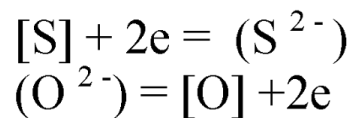
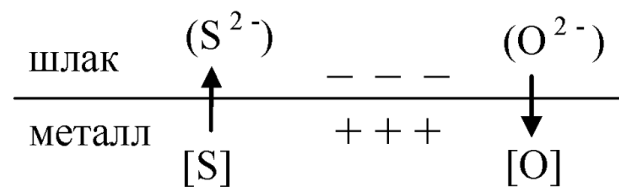
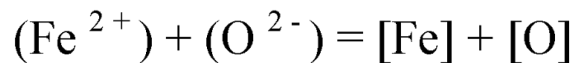
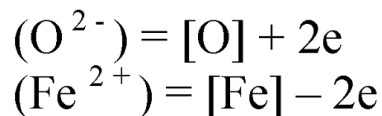
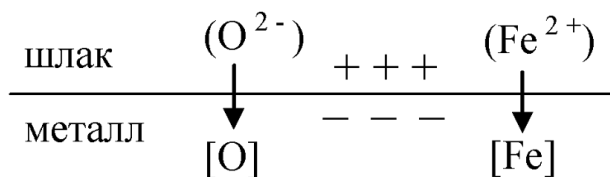


$$\frac{\Delta[X]}{[X]_0} = 1 - \frac{1}{1 + \lambda \cdot L_X}$$

Электрохимический характер взаимодействия шлага с металлом

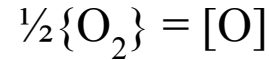


Компенсирующий процесс



Оценка окислительного потенциала

Производится, исходя из равновесия реакции



$$\lg \frac{[O]}{p_{O_2}^{1/2}} = \frac{6114}{T} + 0,151$$

$$p_{O_2} = 10^{2(\lg[O] - \frac{6114}{T} - 0,151)}$$

По составу металла

1) Для нераскисленного металла

$$[O] = \frac{0,0025}{[C]} P_{\text{вн}}$$

2) Для раскисленного металла



$$\lg[O] = \frac{1}{3} \lg K'_{Al_2O_3} + \frac{1}{3} \lg a_{Al_2O_3} - \frac{2}{3} \lg[Al] + 5,25[Al]$$

$$\lg K'_{Al_2O_3} = \lg a_{[O]}^3 a_{[Al]}^2 = -\frac{63927}{T} + 20,667$$

3) В условиях вакуума



$$\lg[O] = \lg K'_C - \lg[C] + 0,42[C] + \lg P_{\{CO\}}$$

$$K'_C = 1/480$$

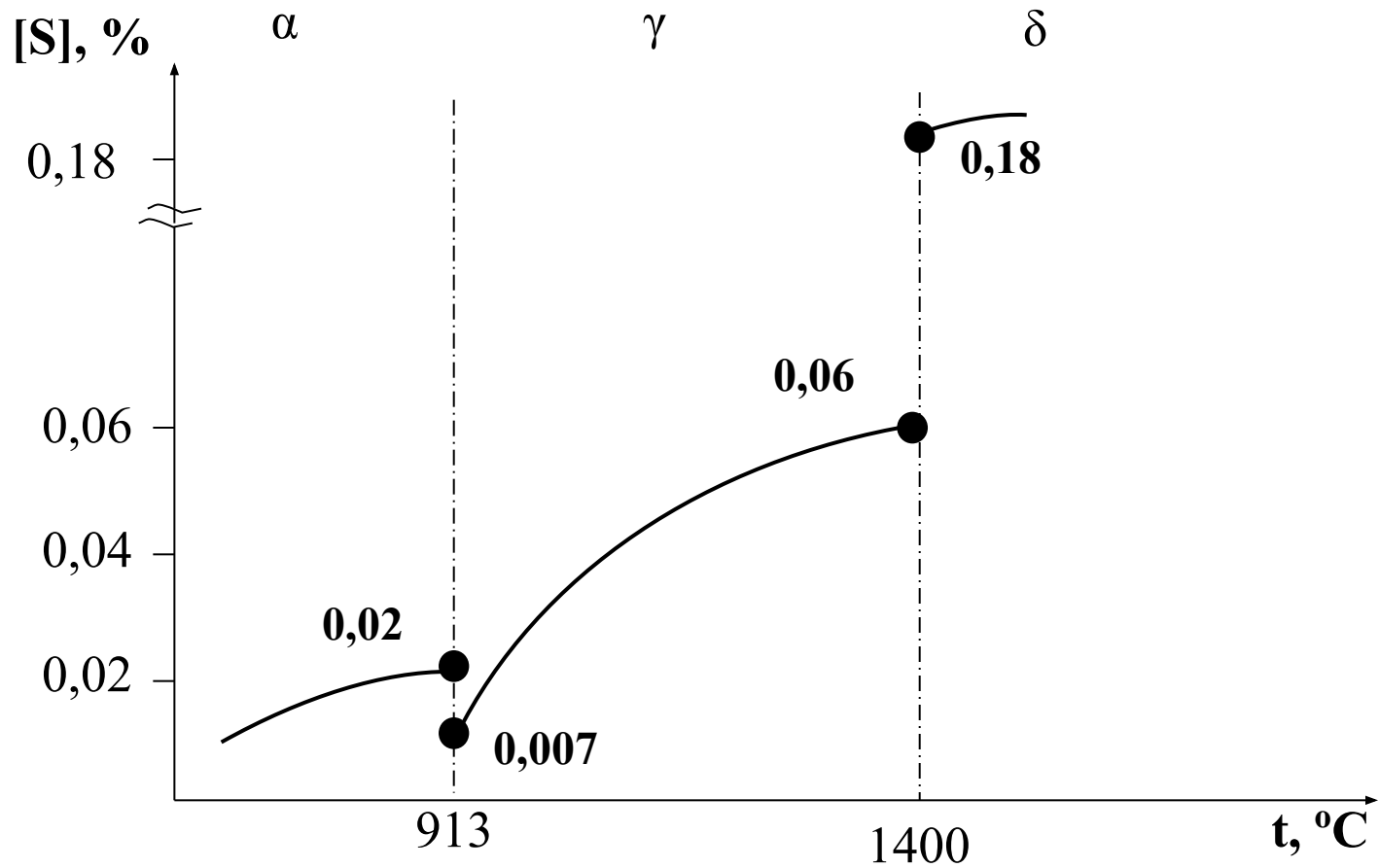
По составу шлака



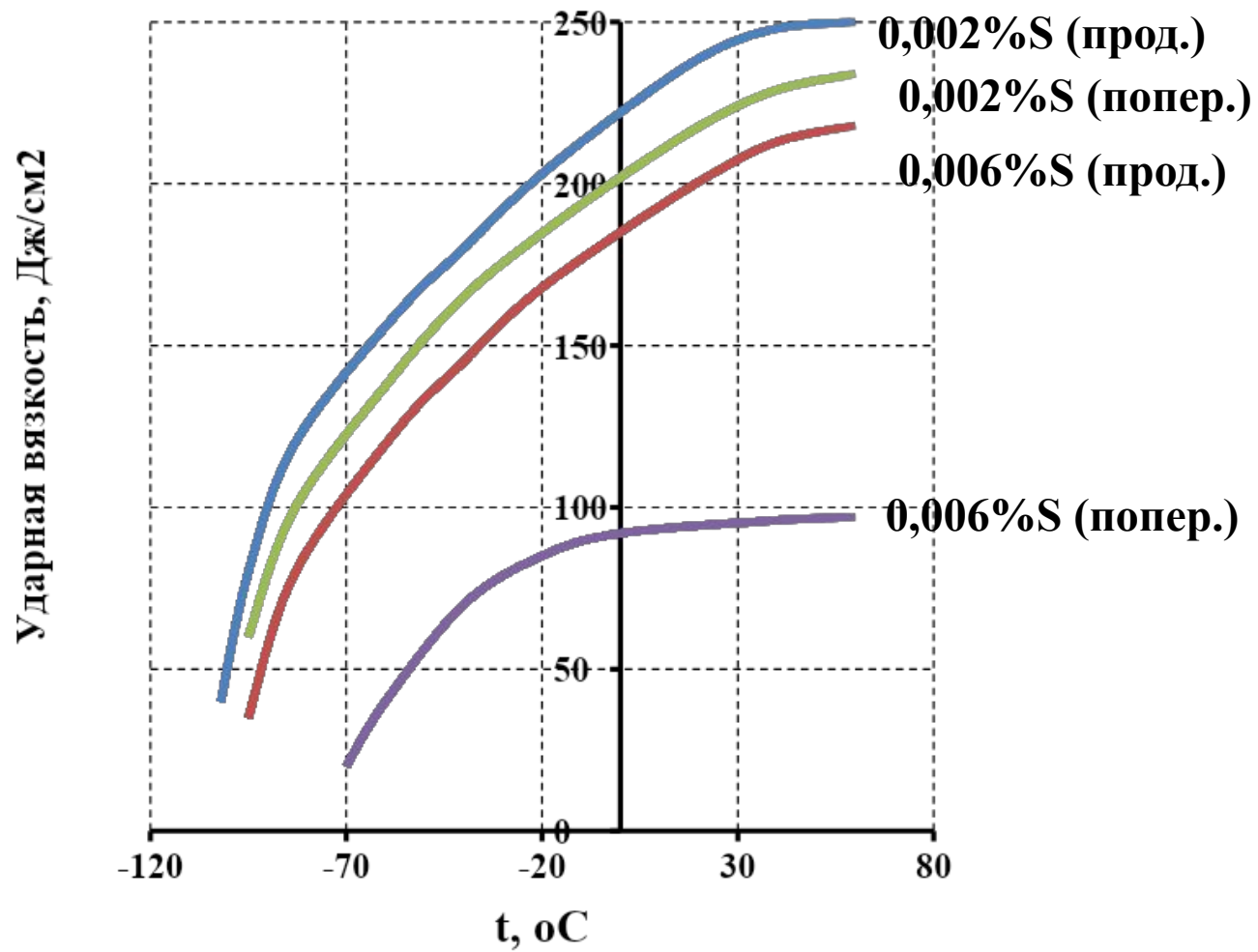
$$[O] = \frac{a_{(FeO)}}{k_O}$$

$$\lg k_O = \frac{6320}{T} - 2,734$$

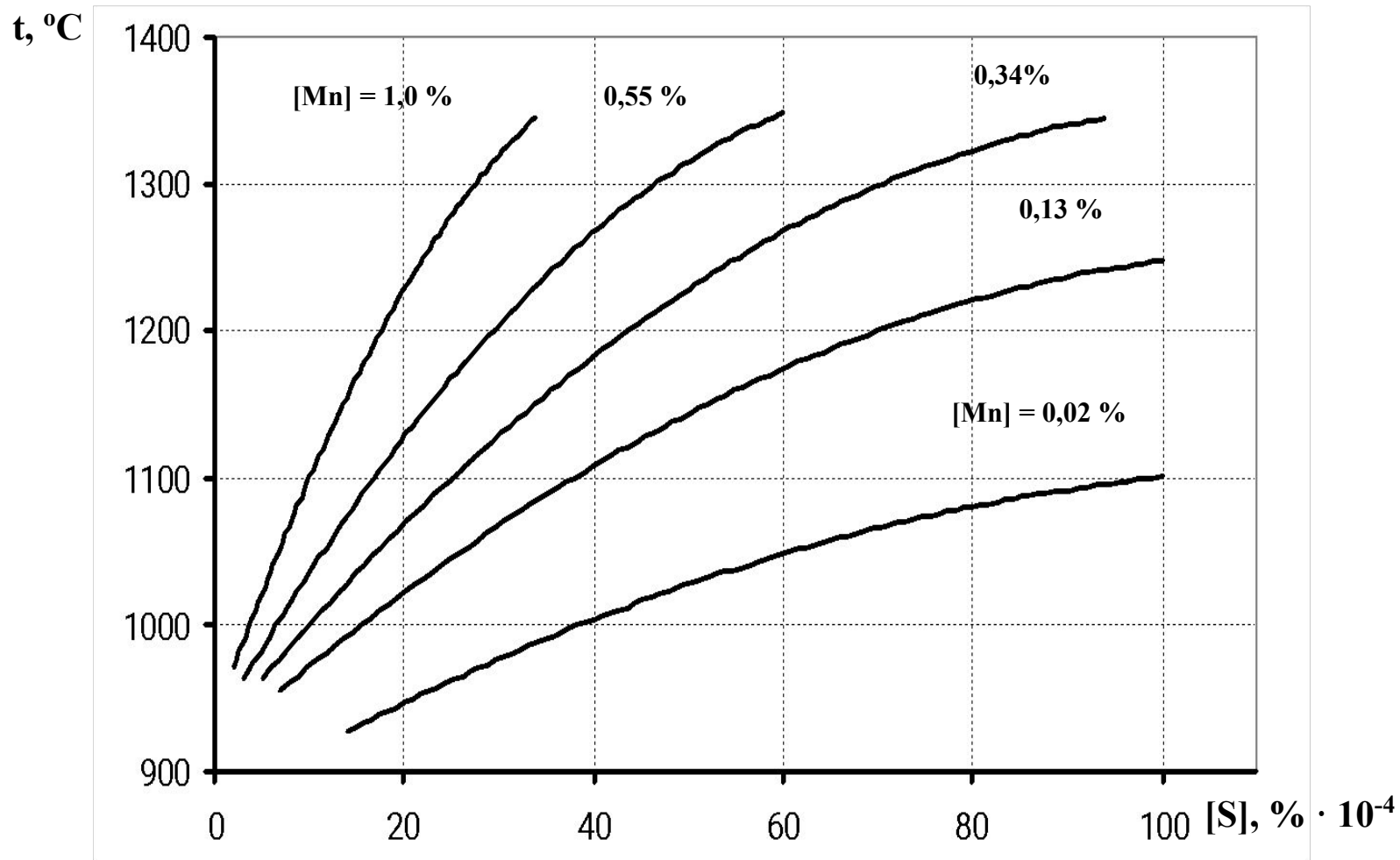
Диаграмма растворимости серы в фазах железа



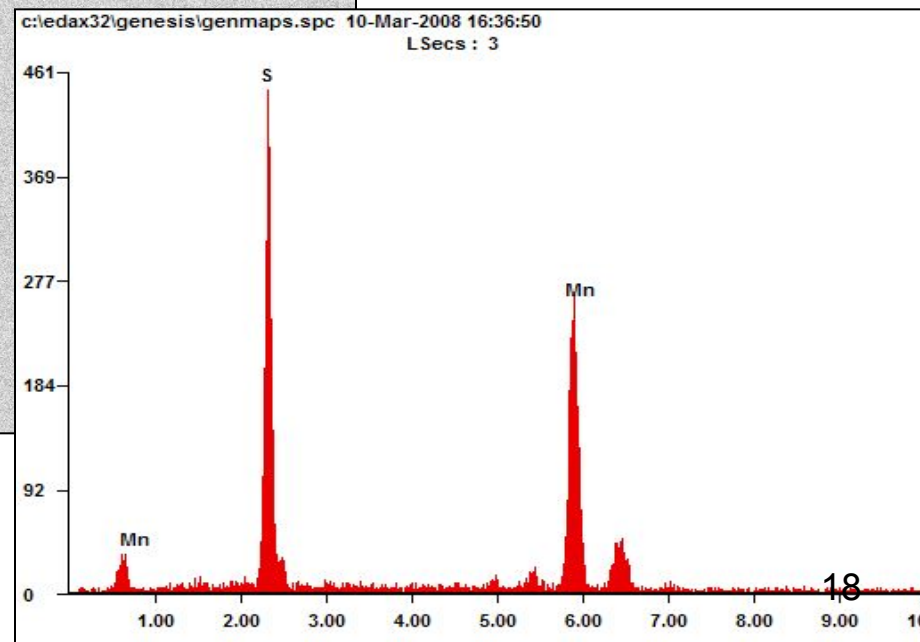
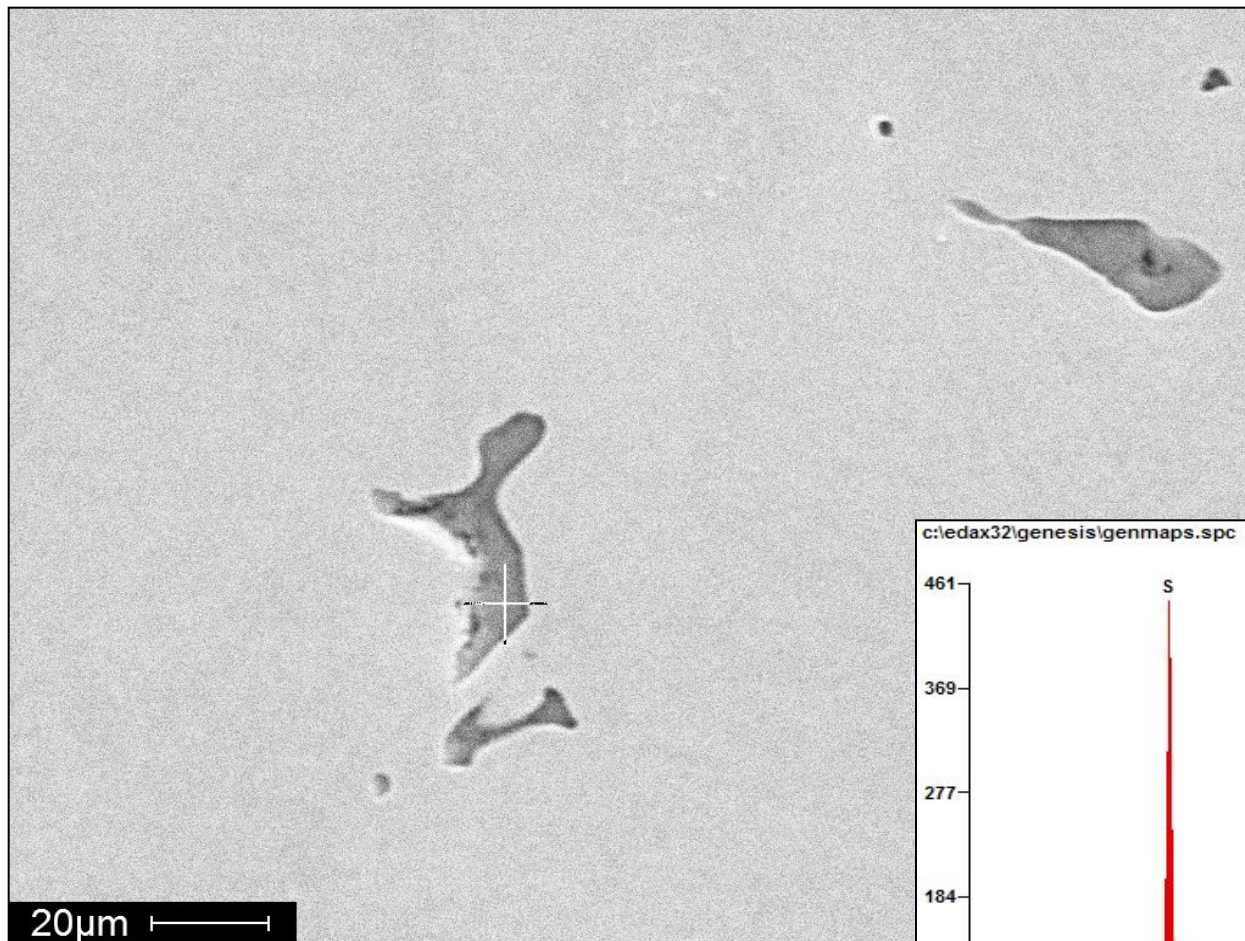
Влияние содержания серы на ударную вязкость



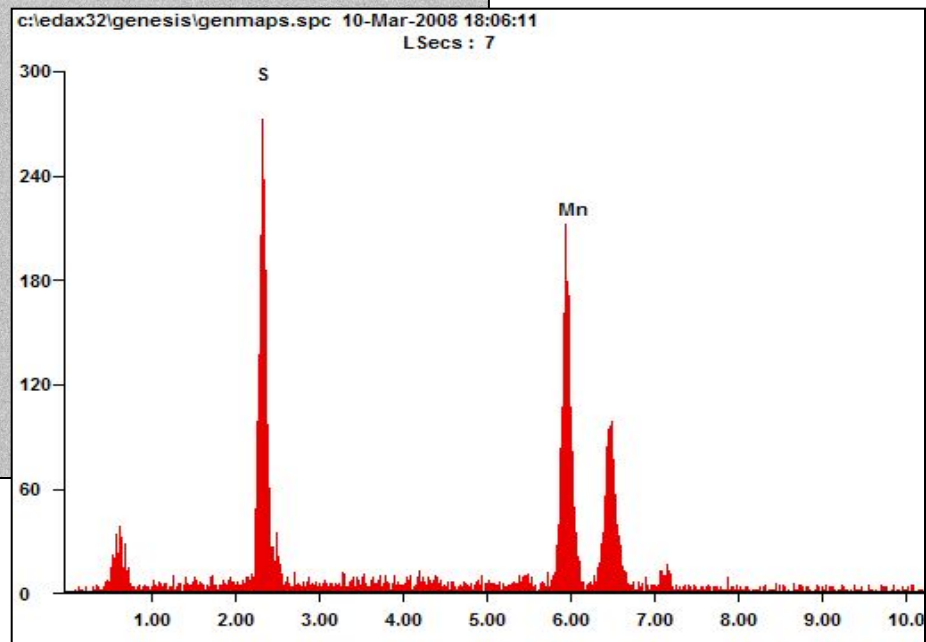
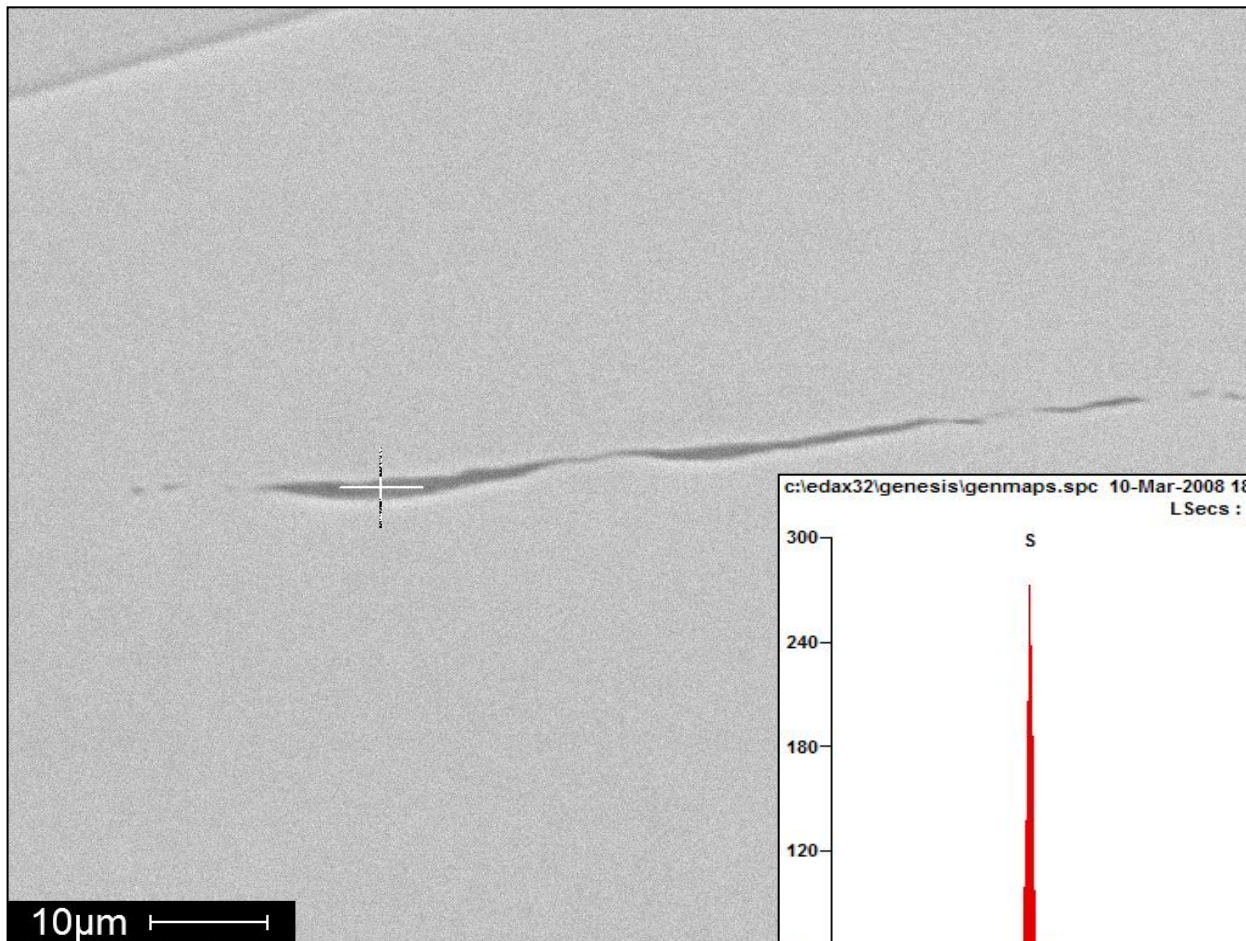
Влияние содержания марганца на растворимость серы в γ -Fe



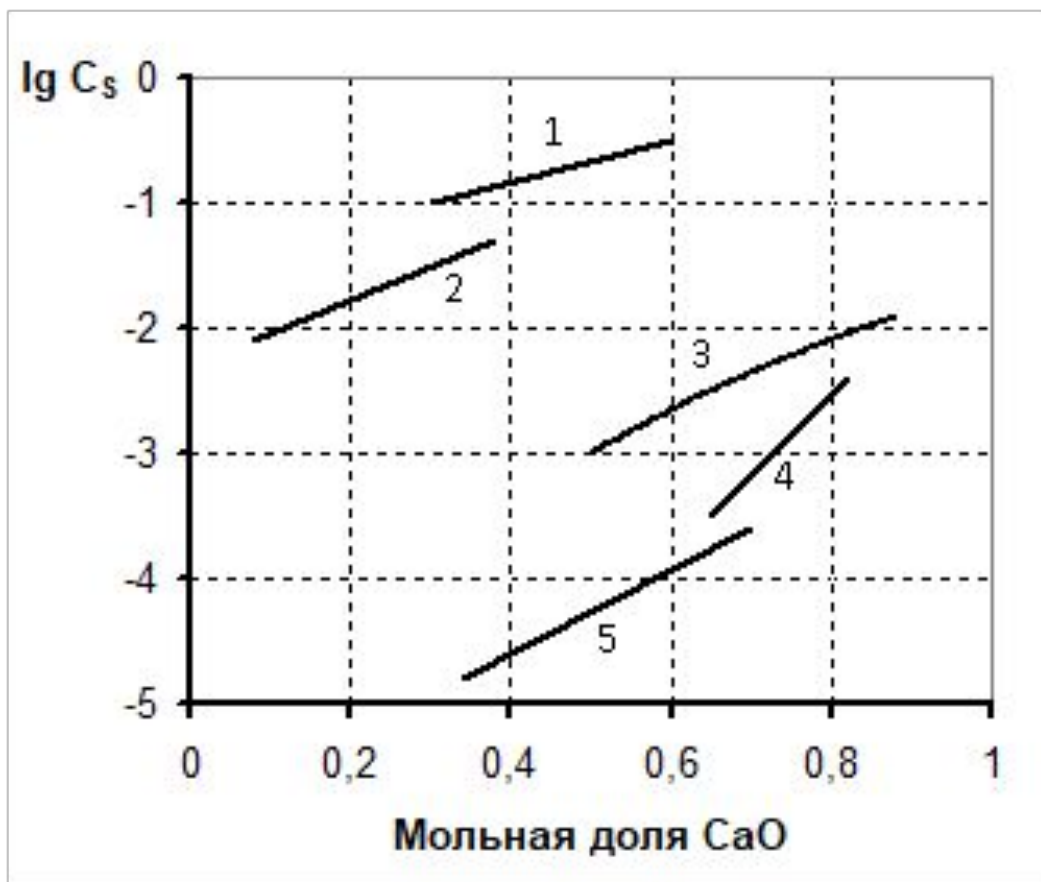
Сульфиды марганца в литой заготовке стали 20ХМФА



Сульфидное включение в готовой трубе из стали 20ХМФА (балл > 3,5)

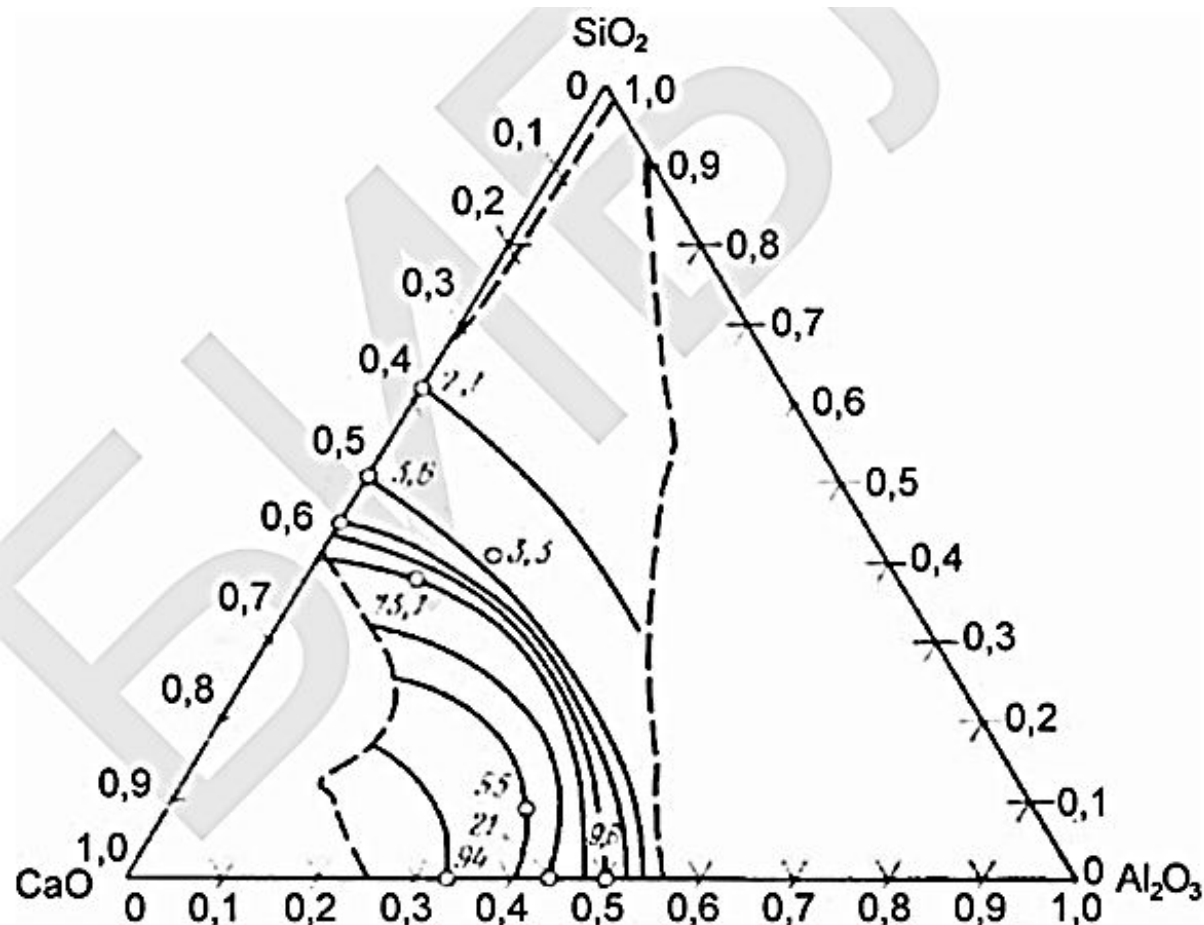


Зависимость сульфидной емкости шлака от содержания CaO для различных шлаковых систем при 1500 °С



- 1 - CaO – CaCl; 2 - CaO – CaF₂; 3 - CaO – Al₂O₃ – CaF₂;
4 - CaO – Al₂O₃; 5 - CaO – SiO₂

Сульфидная емкость $C_S \times 10^{-4}$ ковшевых шлаков $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ в гомогенной области при 1650°C в зависимости от состава (мольные доли)



Атлас шлаков: справ. изд., пер. с нем. — М. : Metallургия, 1985. — 208 с.

Варианты оценки сульфидной емкости

1) По соотношению Тинга и Катаямы

(для системы «CaO – Al₂O₃ – SiO₂ – MgO» при содержании SiO₂ от 0 до 20%)

$$\lg C_S = 3,44 \cdot (N_{CaO} + 0,1 \cdot N_{MgO} - 0,8 \cdot N_{Al_2O_3} - N_{SiO_2}) - \frac{9894}{T} + 2,05$$

где C_S – сульфидная емкость шлака;

T – температура, К;

N_i – мольные доли соответствующих оксидов.

2) По соотношению Соммервиля, исходя из оптической основности шлака (область температур 1400÷1700 °С)

$$\lg C_S = \frac{22690 - 54640 \cdot \lambda}{T} + 43,6 \cdot \lambda - 25,2$$

где λ – оптическая основность шлака.

$$\lambda = \sum (N_i \cdot \lambda_i)$$

где N_i – мольные доли соответствующих оксидов;

λ_i – оптическая основность соответствующего оксида.

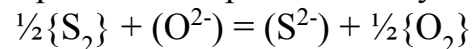
Me_xO_y	$\lambda_{Me_xO_y}$
CaO	1,00
MgO	0,708
MnO	0,577
FeO	0,475
Al ₂ O ₃	0,551
SiO ₂	0,454
P ₂ O ₅	0,386

3) По соотношению С.П. Бурмасова

$$C_S = K_{(S)} \cdot a_{(O^{2-})},$$

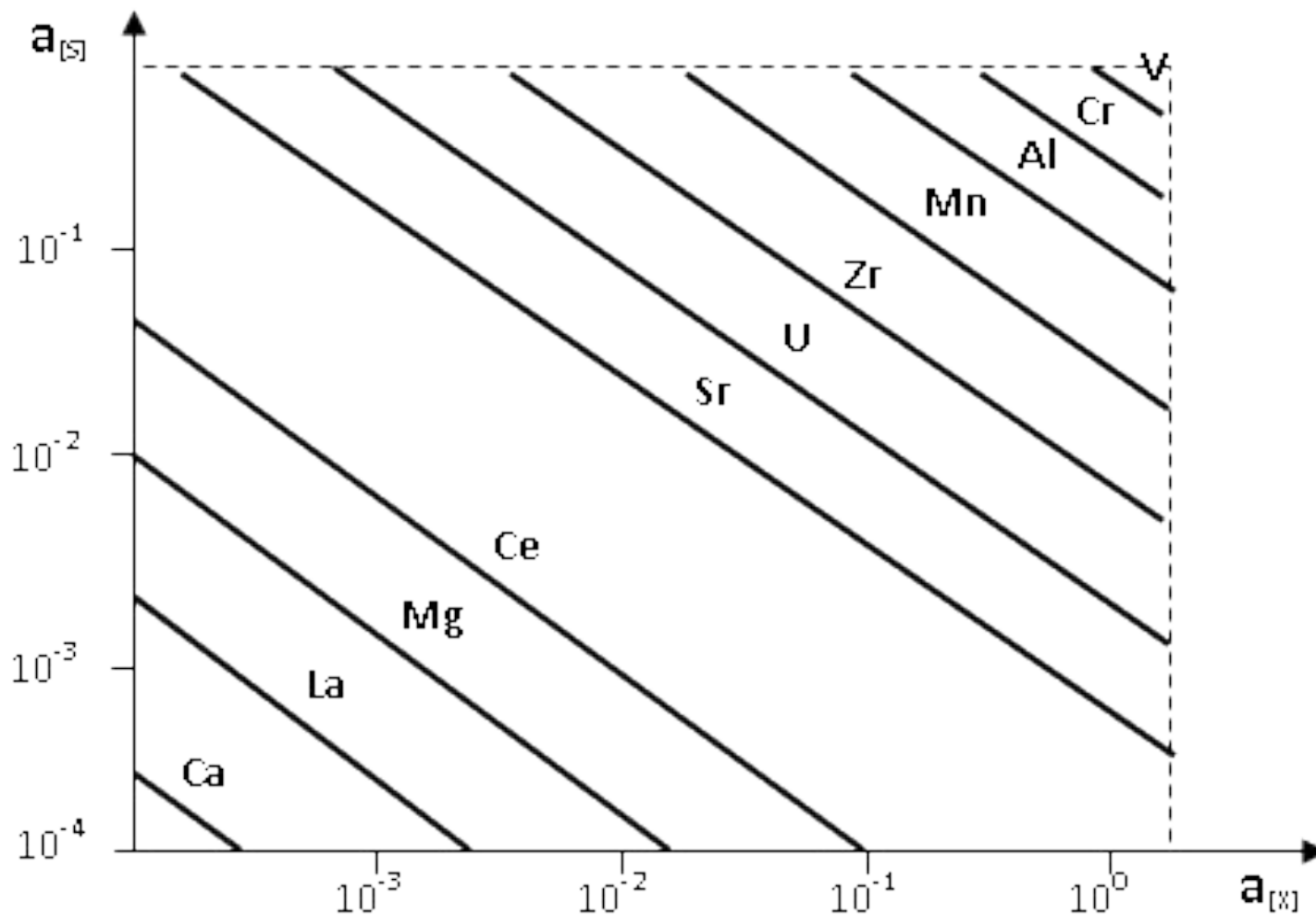
где $a_{(O^{2-})}$ – активность анионов кислорода в шлаке,

- константа равновесия реакции десульфурации

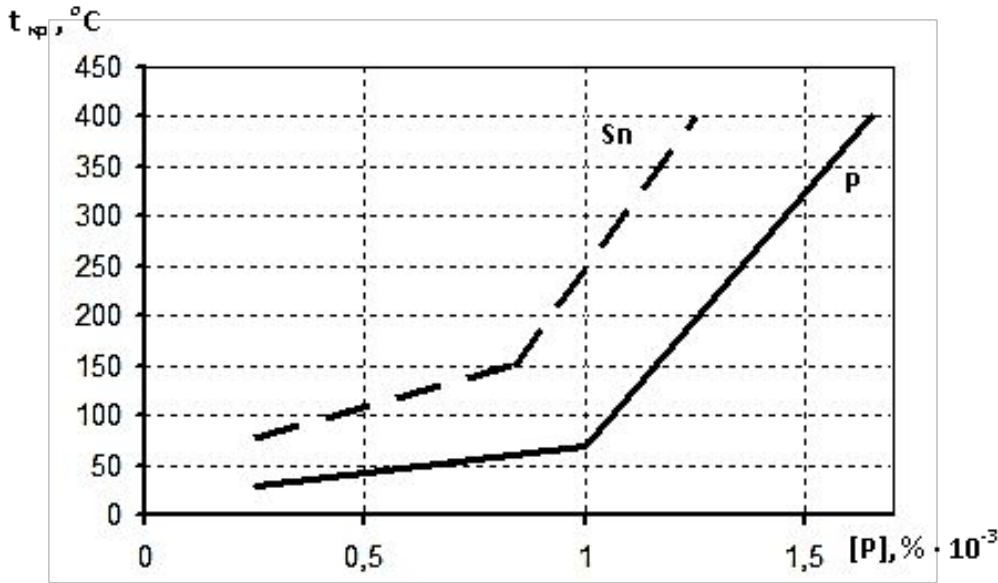


$$\lg K_{(S)} = -\frac{4813,2}{T} + 0,2475$$

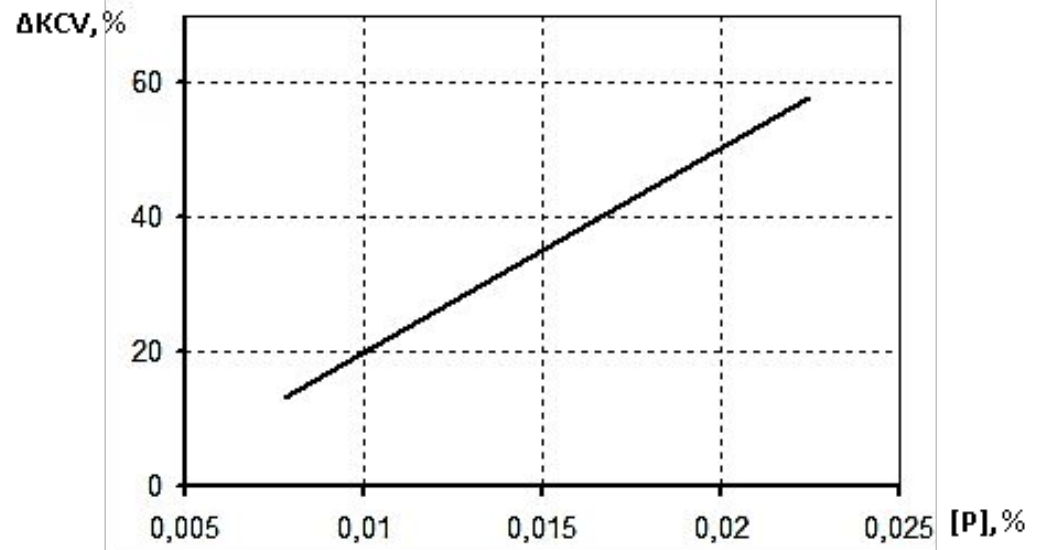
Взаимосвязь активностей в металле серы и сульфидообразующих элементов



Влияние концентрации фосфора и олова на температуры охрупчивания стали

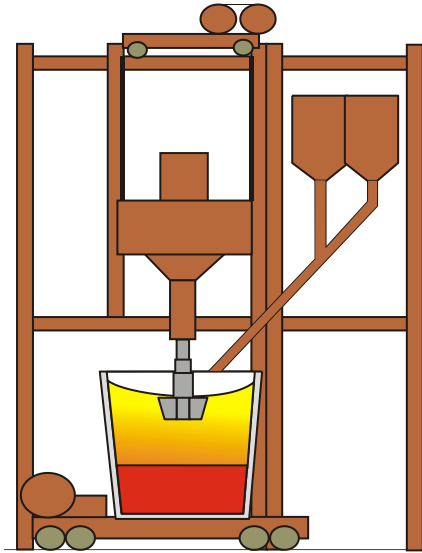


Влияние содержания фосфора на снижение ударной вязкости стали при отпуске



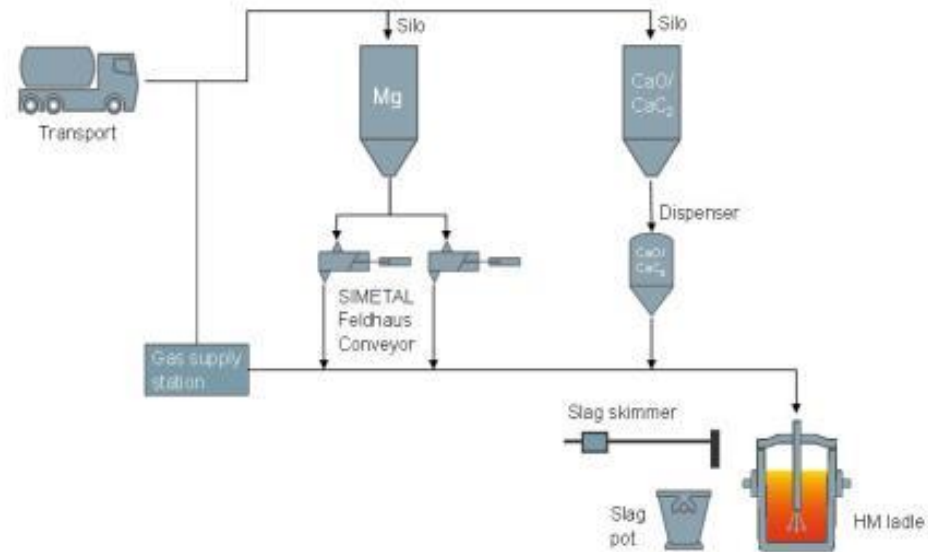
Внедоменная десульфурация чугуна

Обработка чугуна в Kanbaro Reactor



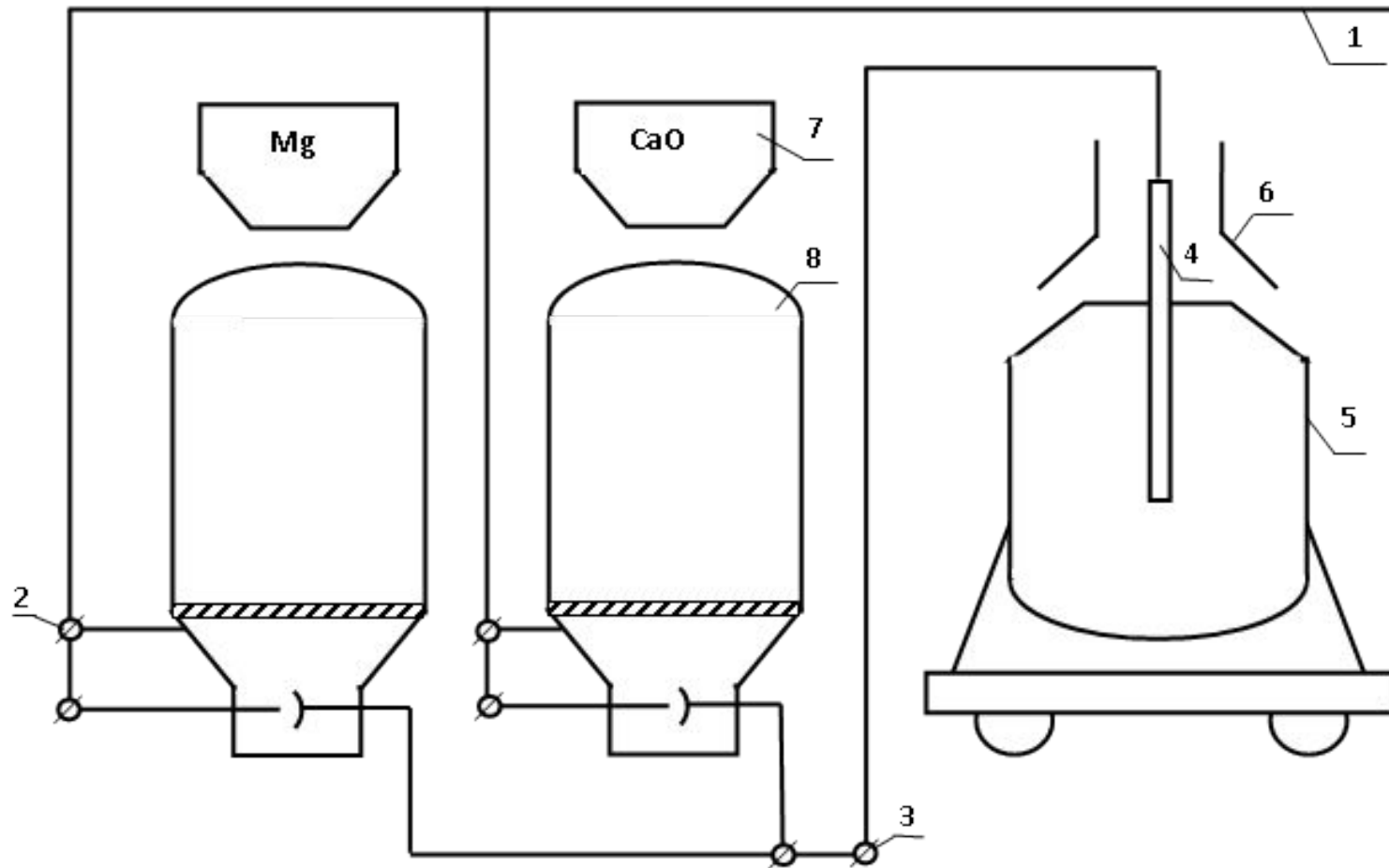
- Максимизация межфазного контакта шлак-металл
- Высокая эффективность применения CaO
- Достижение низкого конечного содержания серы
- Простота процесса и короткое время обработки
- Низкие тепловые потери: 25 – 30 К
- Исключительное оборудование для

Технология десульфурации SIMETAL Feldhaus (SIEMENS)



- Использование разных материалов (CaO, CaC₂, Mg)
- Оптимизация затрат на материалы благодаря регулированию расхода и соотношения материалов
- Снижение количества шлака
- Точность попадания в целевые параметры по сере. Требуется лишь 25 небольшой запас высоты

Схема инъекционной установки для десульфурации чугуна



1 – тракт подачи несущего газа (Ar, N);

2 – подача газа для псевдоожижения (формирование кипящего слоя);

3 – тракт подачи газопорошковой смеси; 4 – фурма; 5 – чугуновозный ковш;

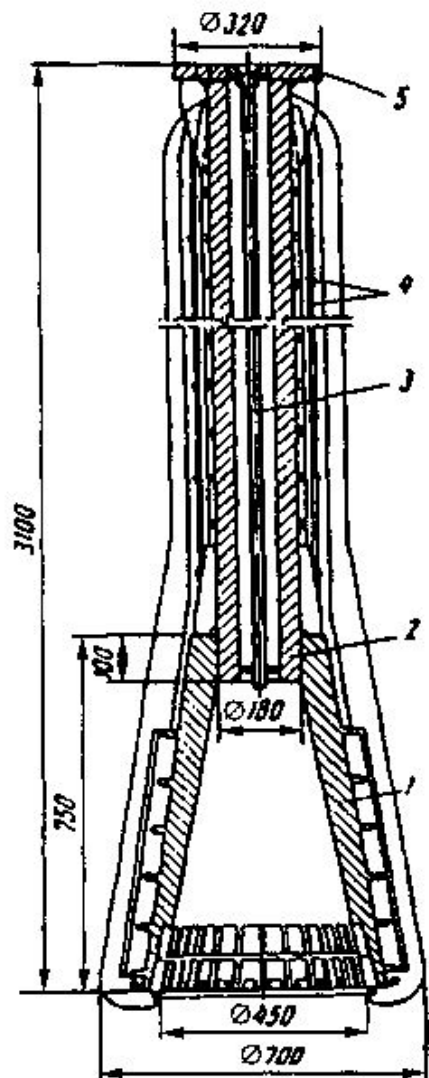
6 – газоотводящий тракт (газоочистка); 7 – бункер; 8 – пневмонагетатель

**Основные показатели работы установки
десульфурации чугуна-полупродукта НТМК
при заданном целевом содержании серы 0,002%.**

Масса чугуна-полупродукта, т	164/(140-171)
Содержание серы, % : до обработки	0,026/(0,010-0,050)
после обработки	0,005/(0,0009-0,025)
Средний удельный расход извести, кг/т ··	2,661/2,600
Средний удельный расход магния, кг/т ··	0,532/0,506

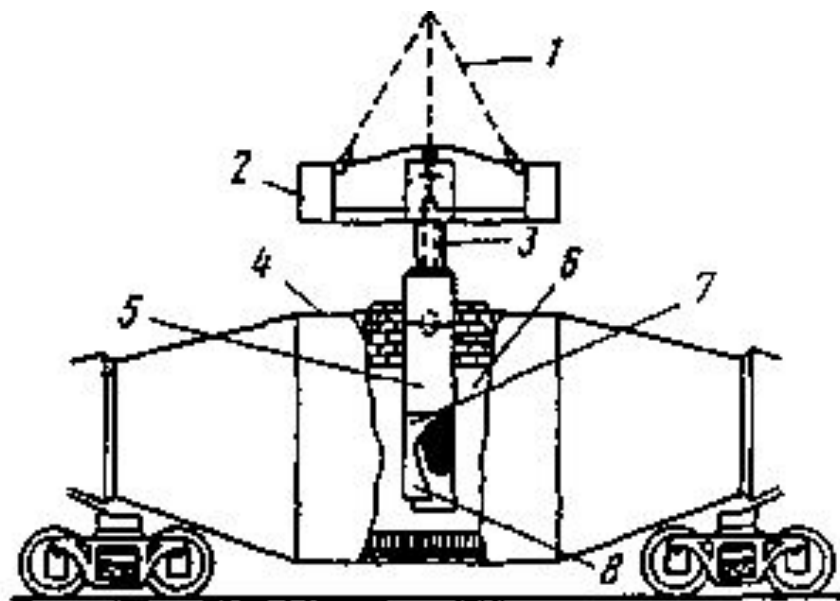
- - в числителе указаны средние значения, в знаменателе - предельные;
- - в числителе указаны плановые значения, в знаменателе - фактические.

Фурма для ввода магния в чугун



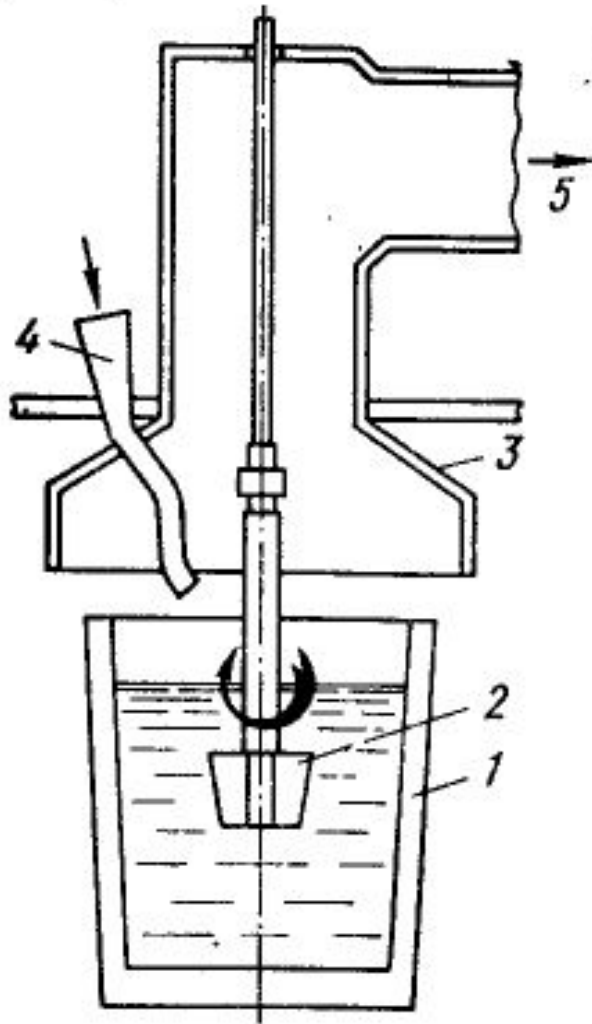
1 - испарительная камера с отверстиями для выхода паров магния; 2 - несущая труба; 3 - канал; 4 - стальная арматура (покрывается огнеупорной обмазкой); 5 - фланец

Схема установки для десульфурации чугуна магниевым коксом



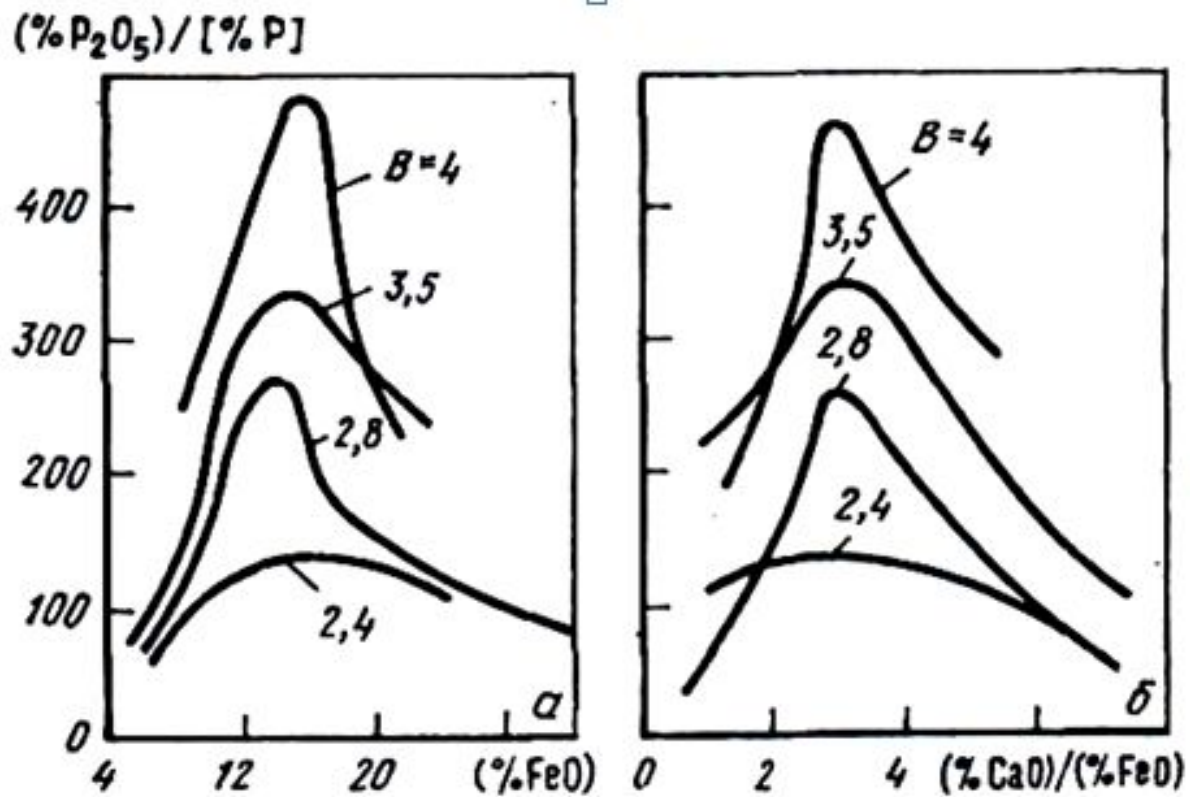
1 - четырехходовой цепной подъемник;
 2 - стальной балласт; 3 - стальной вал;
 4 - ковш миксерного типа;
 5 - графитовый стержень; 6 - чугун;
 7 - магниевый кокс; 8 - графитовый колокол

Схема установки для десульфурации чугуна



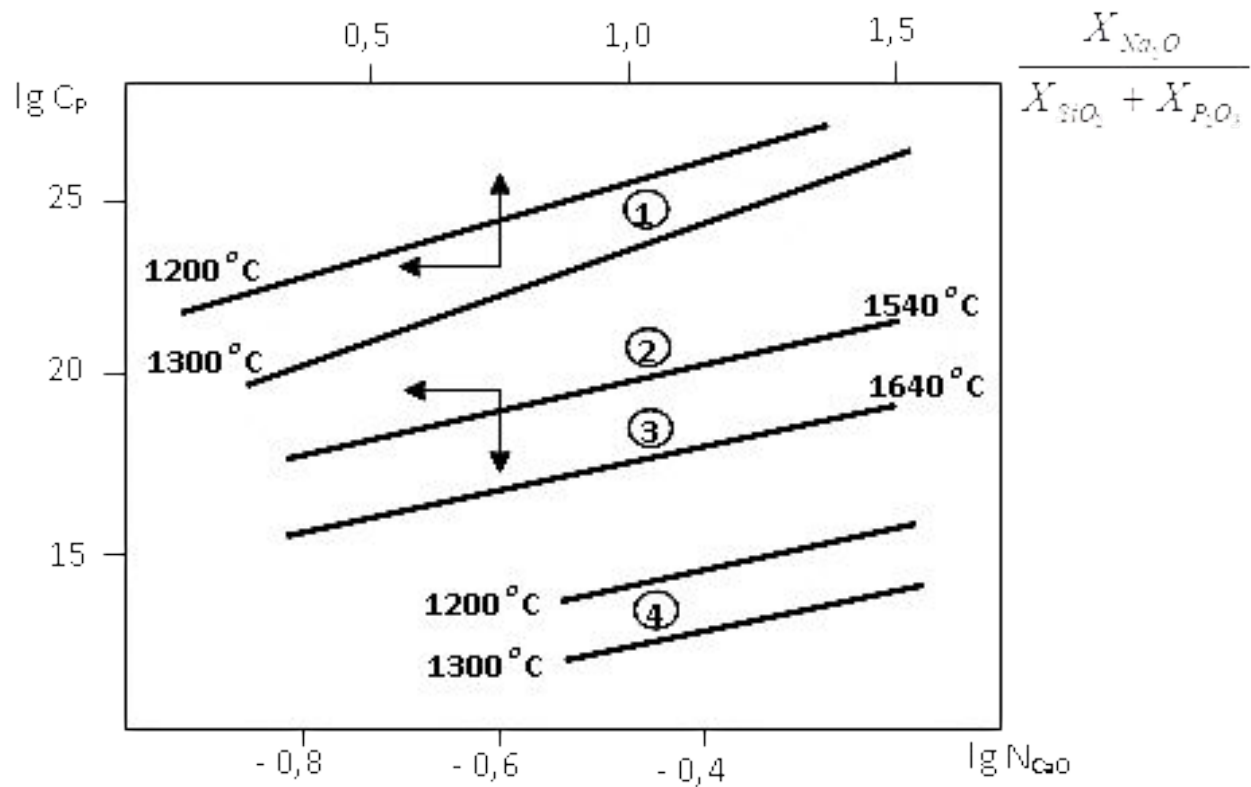
- 1 – ковш с жидким чугуном;
- 2 – ротор-мешалка;
- 3 – колпак для пылеулавливания;
- 4 – подача десульфураторов;
- 5 – отвод газов

Зависимость распределения фосфора между металлом и шлаком от состава шлака



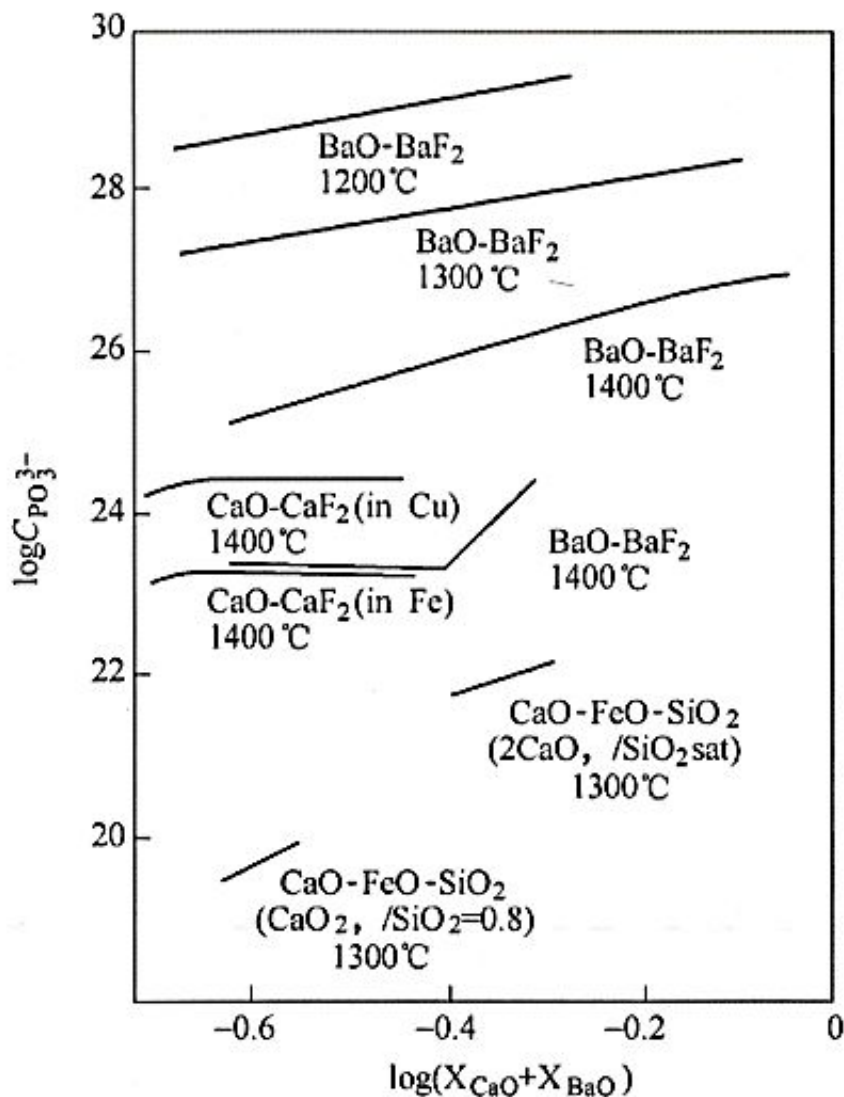
Цифры у кривых – основность
шлака

Зависимость фосфатной емкости шлака от основности для различных шлаковых систем

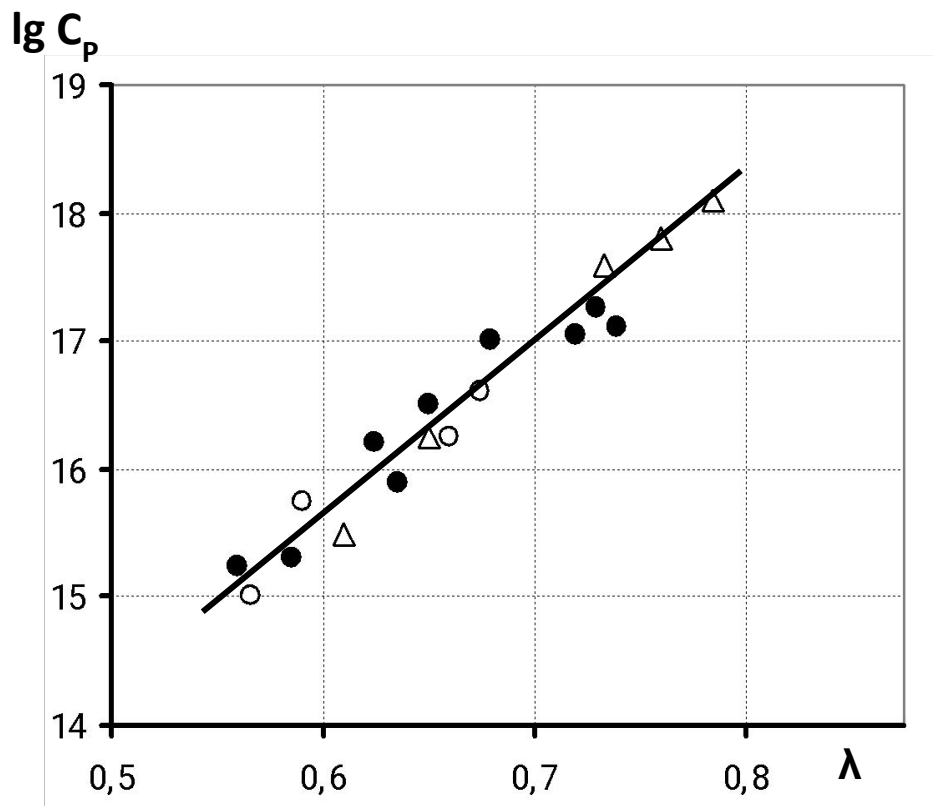


- 1 – $Na_2O - SiO_2$; 2 – $CaO - CaCl_2$; 3 – $CaO - FeO - SiO_2$;
 4 – $CaO - SiO_2 - CaCl_2$

Зависимость фосфатной емкости шлаков от содержания ОСНОВНЫХ ОКИСЛОВ




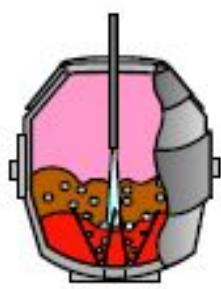
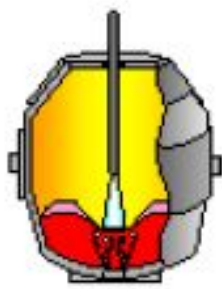
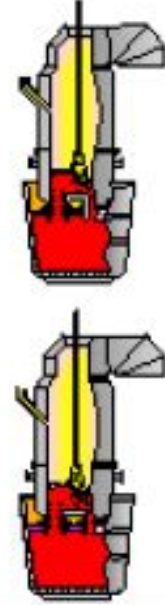

Зависимость фосфатной емкости шлака от оптической основности, полученной Мори на основе обобщения данных при 1600 °С



Для шлаковых систем: ○ – $\text{FeO} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$;

● – $\text{FeO} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{CaF}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$; △ – $\text{FeO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$

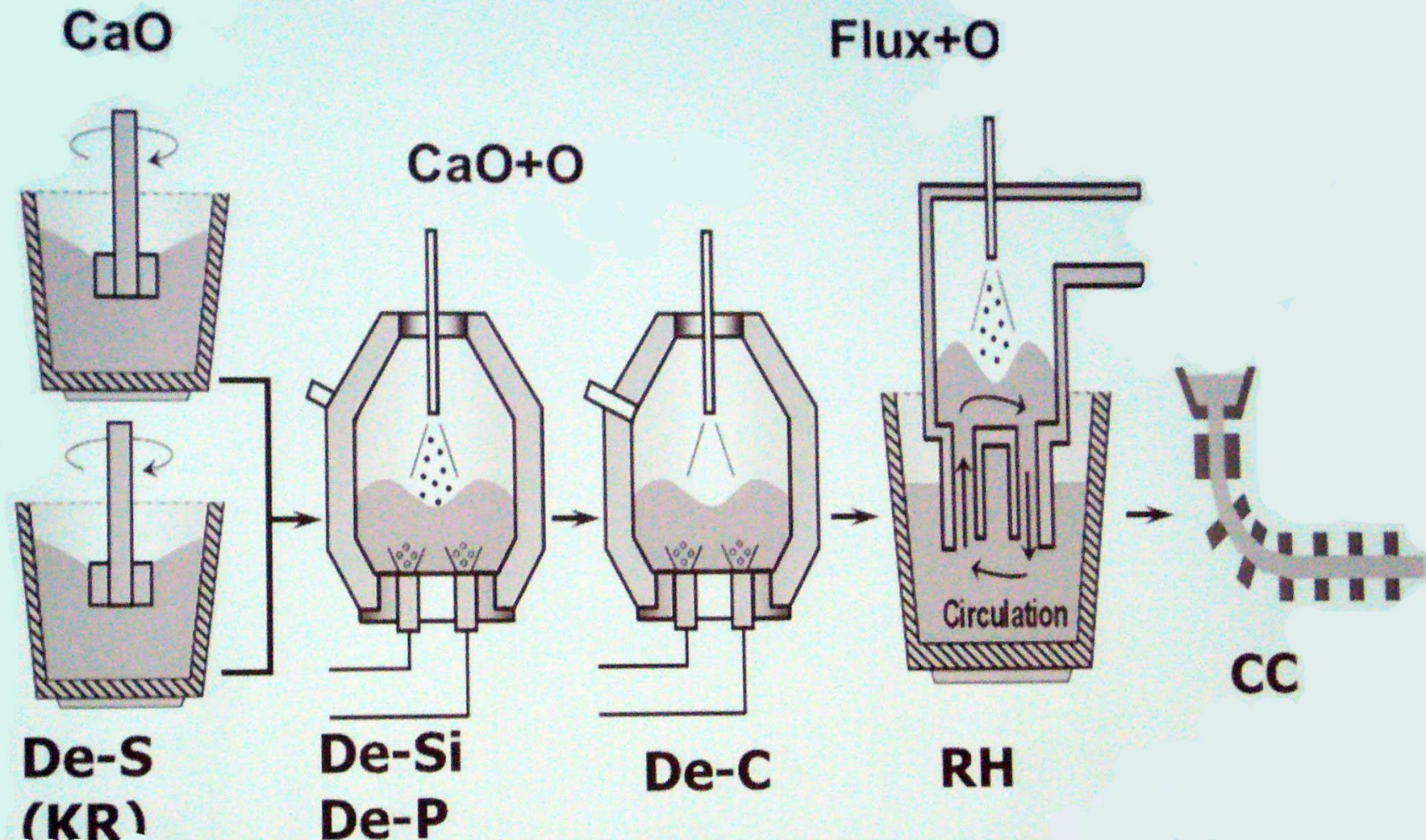
Высокоскоростной SRP-Z конвертерный процесс на Wakayama Steel Work

KR desulfurization	Dephosphorization furnace	Decarburization furnace	RH	Continuous Casting
	 <p style="text-align: center;">240 т</p>	 <p style="text-align: center;">240 т</p>		
40 minutes ×2 stations	20 minutes	20 minutes	40 minutes ×2 stations	60 minutes ×3 machines

← Шла
К

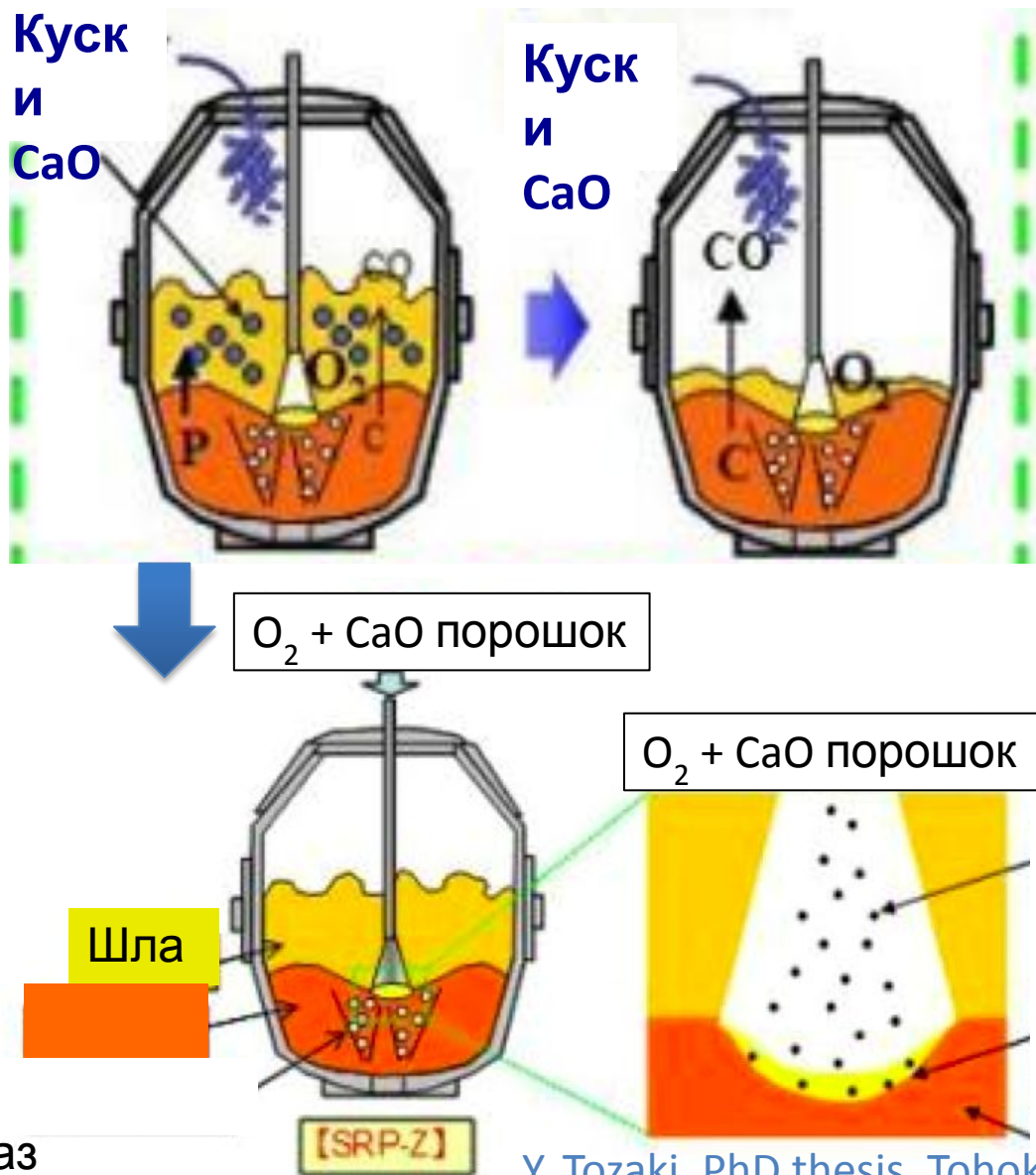
SRP-Z на заводе Вакаяма состоит из Kanbaro реактора для десульфурации, 1-го 280 т. BOF для де-Р, 2-го 280 т. BOF для обезуглероживания, высокоскоростного RH вакууматора 3-х ручьевой слябовой МНЛЗ с производительностью качественной стали свыше 3,4 млн. т / год.

SRP-Z процесс Wakayama Works



SRP-Z на заводе Вакаяма состоит из Kambara реактора для де-S, 1-го 280 т. BOF для де-P, 2-го 280 т. BOF для де-C, высокоскоростного RH вакууматора 3-х ручьевой слябовой МНЛЗ с производительностью качественной стали свыше 4 млн. т / год

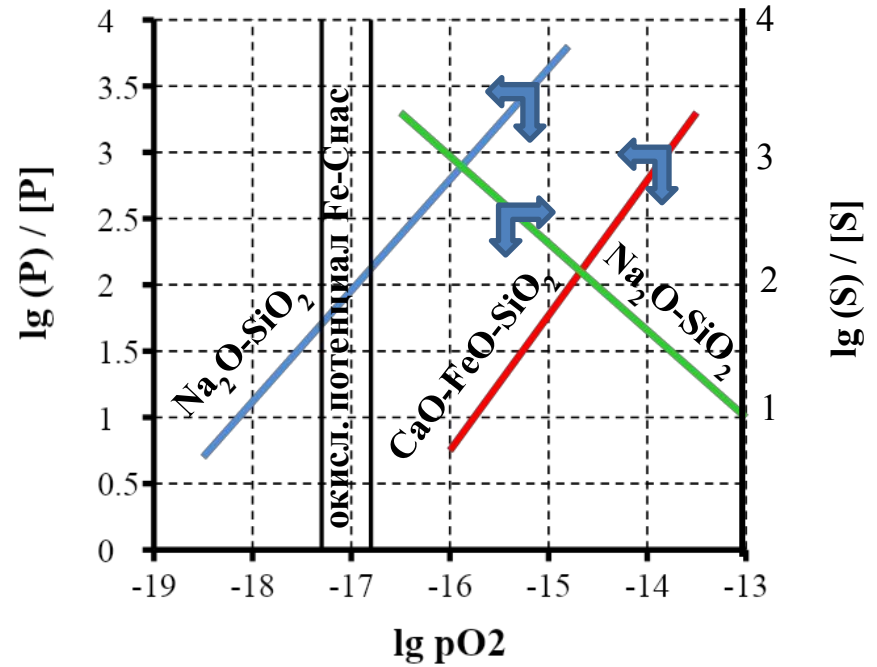
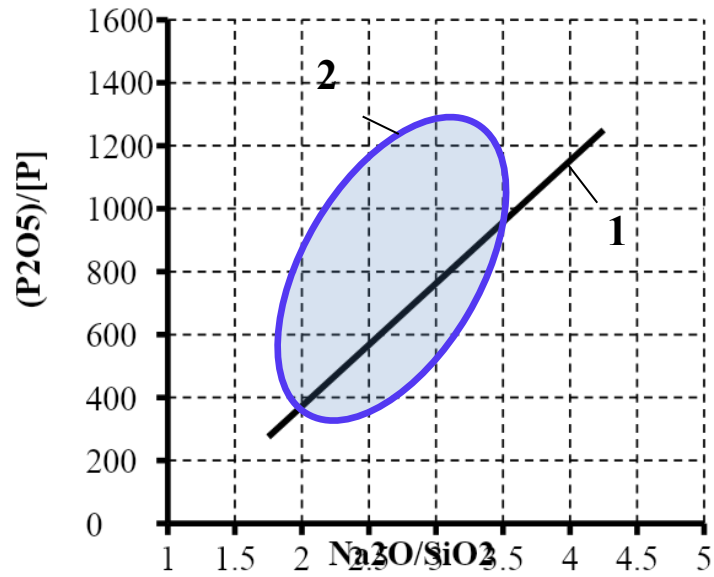
SRP-Z конвертерный процесс



В первом конвертере - процесс рафинирования чугуна от кремния и фосфора тв CaO.

- значительно снижаются общий объем шлака;
- сокращается время обработки от выпуска до выпуска;
- во **втором конвертере** попадание в заданное содержание углерода в расплаве, и температуру перед выпуском приближаются к 100%.

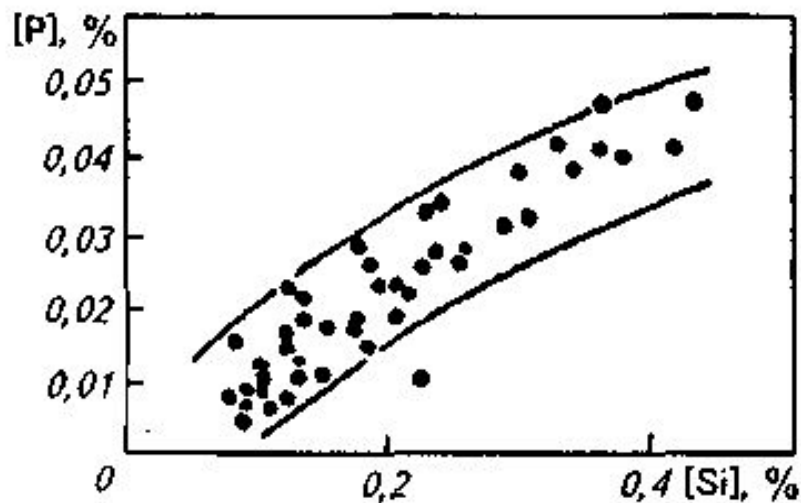
Внедоменная дефосфорация чугуна



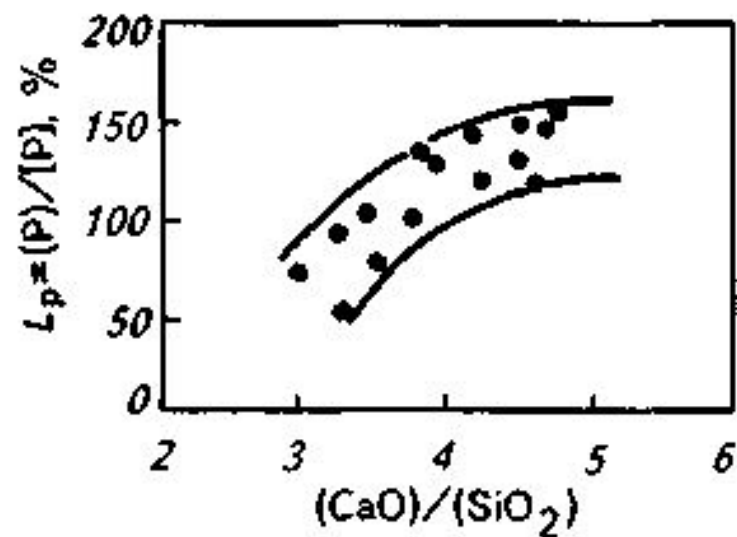
- 1 – лабораторные данные
- 2 – промышленный результат (ковш 250 т)

Влияние содержание в чугуна кремния на эффективность его дефосфорации

Зависимость содержания [P] после дефосфорации при 1250-1300 °С от начального содержания [Si] в чугуна при расходе флюса 60—70 кг/т чугуна и начальном содержании [P] = 0,10-0,12 %

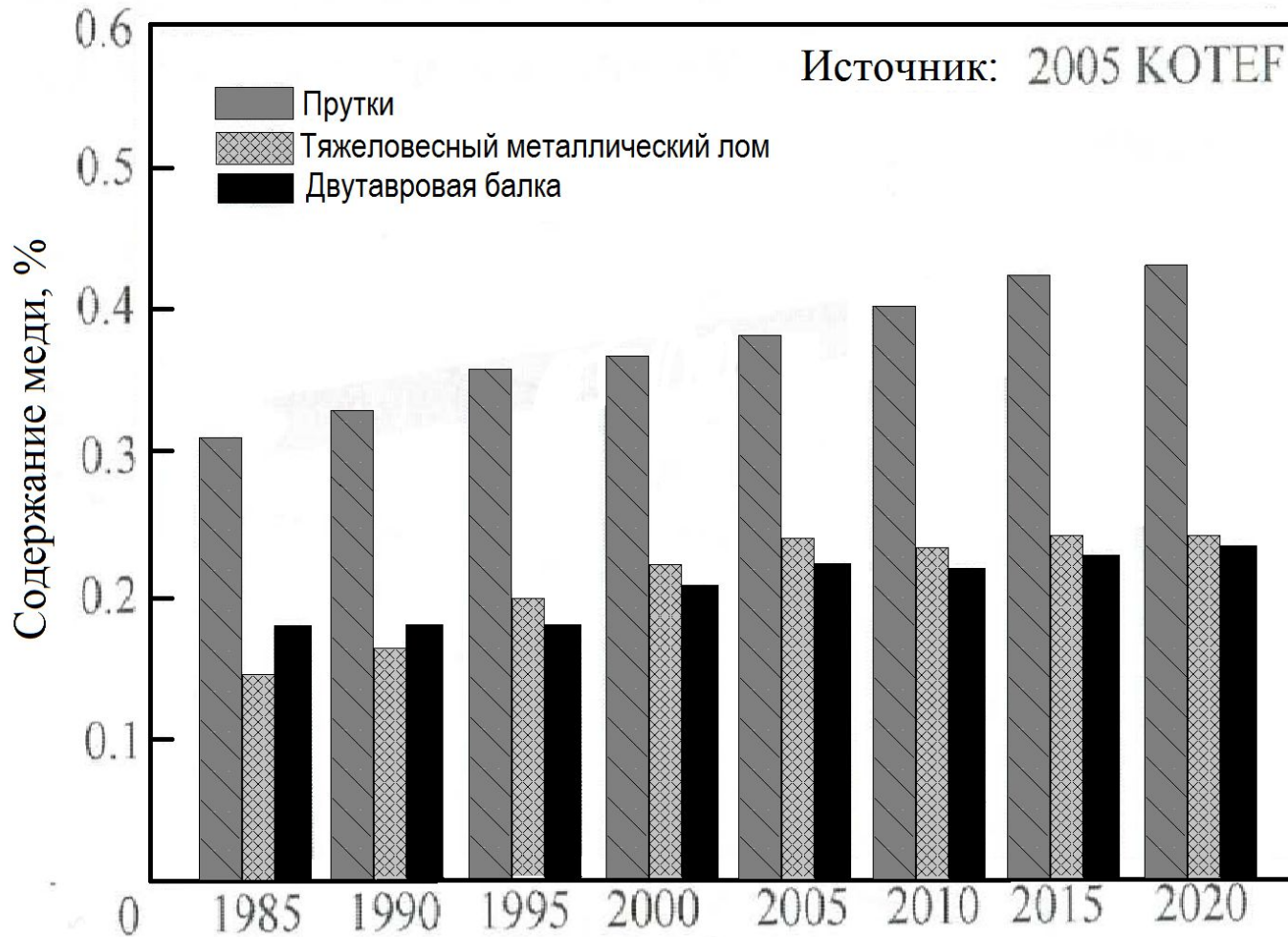


Зависимость между $(CaO)/(SiO_2)$ и показателем распределения фосфора при температуре после дефосфорации 1250—1300°С

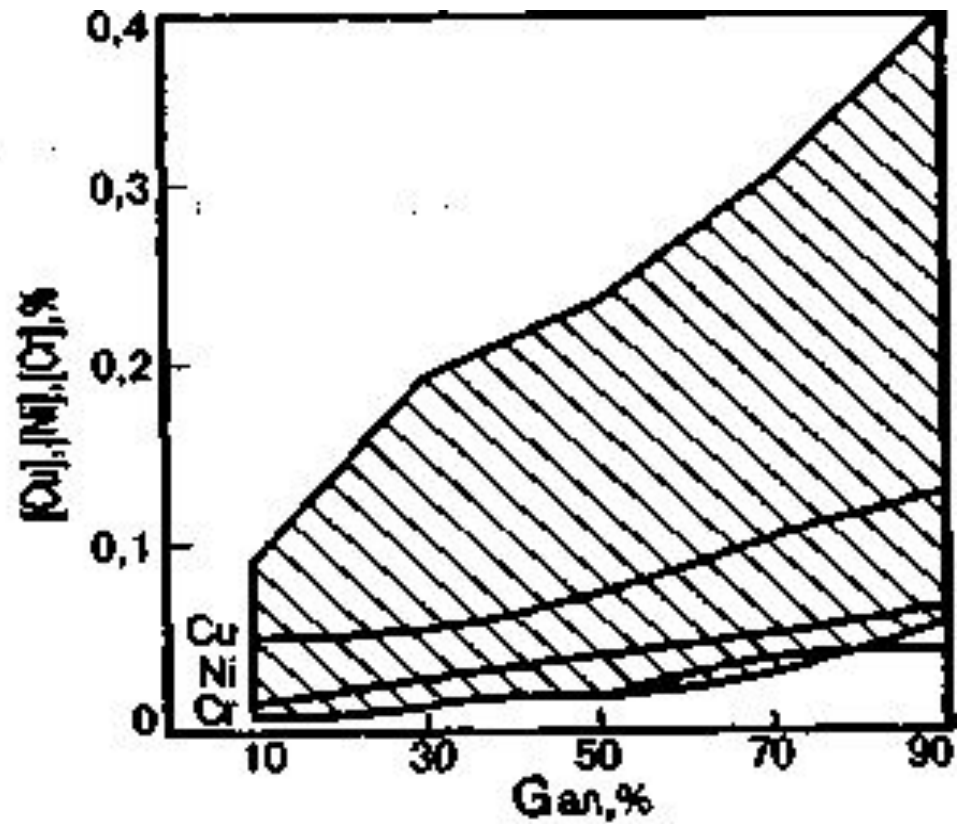


Флюс – известь, плавиковый шпат, агломерат

Динамика накопления меди в ломе



Зависимость примерного содержания хрома, никеля и меди в конвертерной стали от доли амортизационного лома.



Содержание примесей в стали, выплавленной при различной доле чугуна, лома и металлизированного продукта в шихте (по данным спектрального анализа), %

Предприятие, марка стали, вариант шихты	Cu	Ni	Sb	Sn	Zn	Bi	Pb	As
НТМК ванадиевый чугун	0,022	0,025	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
НТМК,09Г2С, монопроцесс (80% чугуна, 20% лома)	0,02- 0,13	0,04- 0,08	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.
НТМК,09Г2С, дуплекс-процесс (100% чугуна)	0,020- 0,025	0,026	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
ОЭЗУИМа, ДСП-0,5, 09Г2С(100% качка- нарских металлизиро- ванных окатышей)	0,01	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	менее 0,0005	<0,001	<0,01
ОЭМК, сталь Э76В (70% Лебединских металлизированных ока- тышей, 30% оборот- ного лома)	0,08- 0,11	0,038- 0,042	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

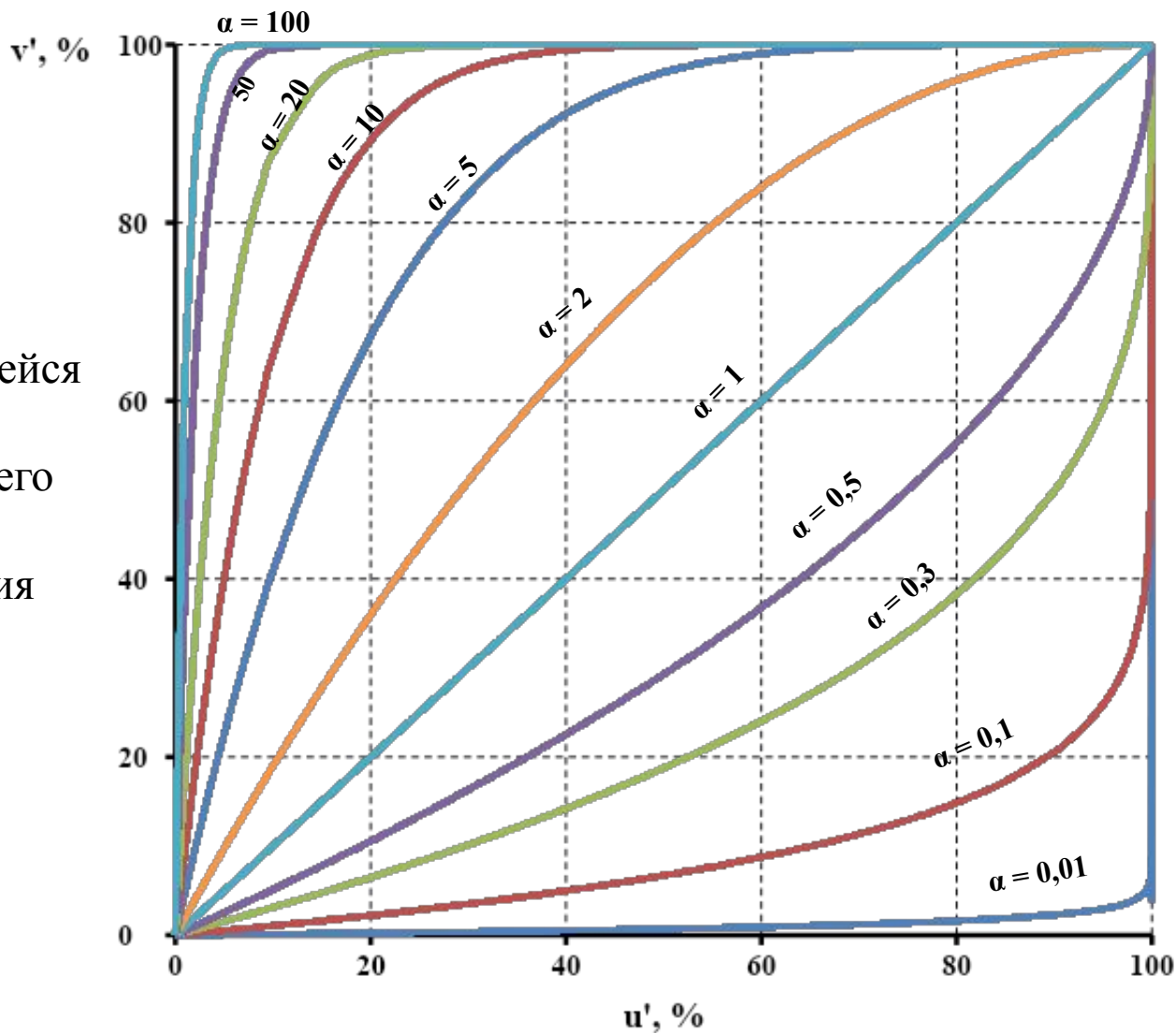
Соотношение количеств параллельно испарившейся примеси и железа

$$v' = 100 - 100 \cdot \left(1 - \frac{u'}{100}\right)^\alpha$$

где v' – количество испарившейся примеси, %;

u' – количество испарившего железа, %;

α – коэффициент испарения примеси



Соотношение количеств параллельно испарившейся примеси и железа

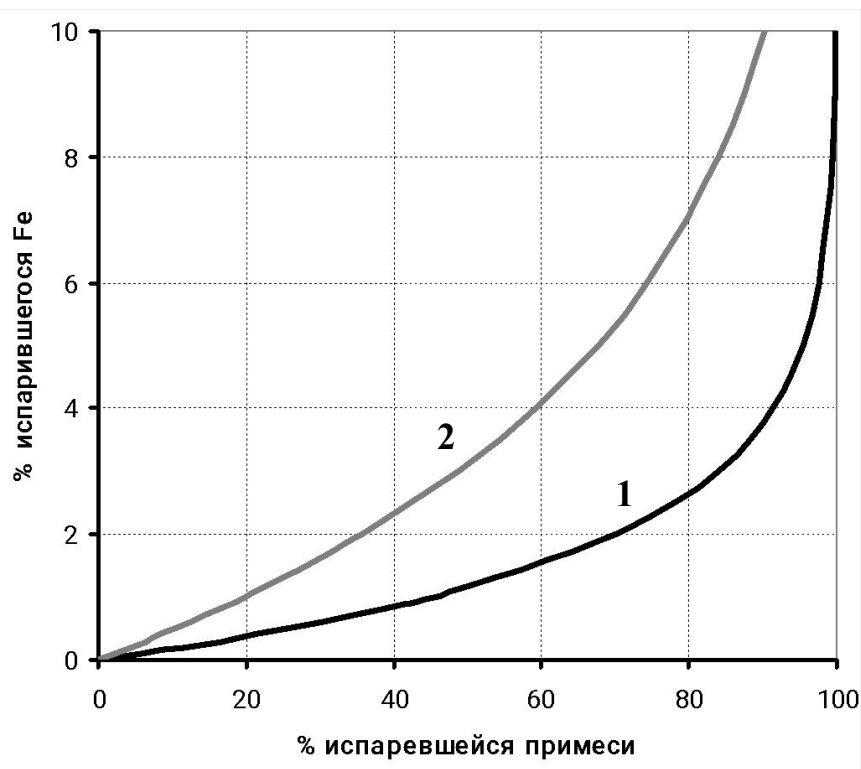
$$v' = 100 - 100 \cdot \left(1 - \frac{u'}{100}\right)^\alpha$$

где v' – количество испарившейся примеси, %;

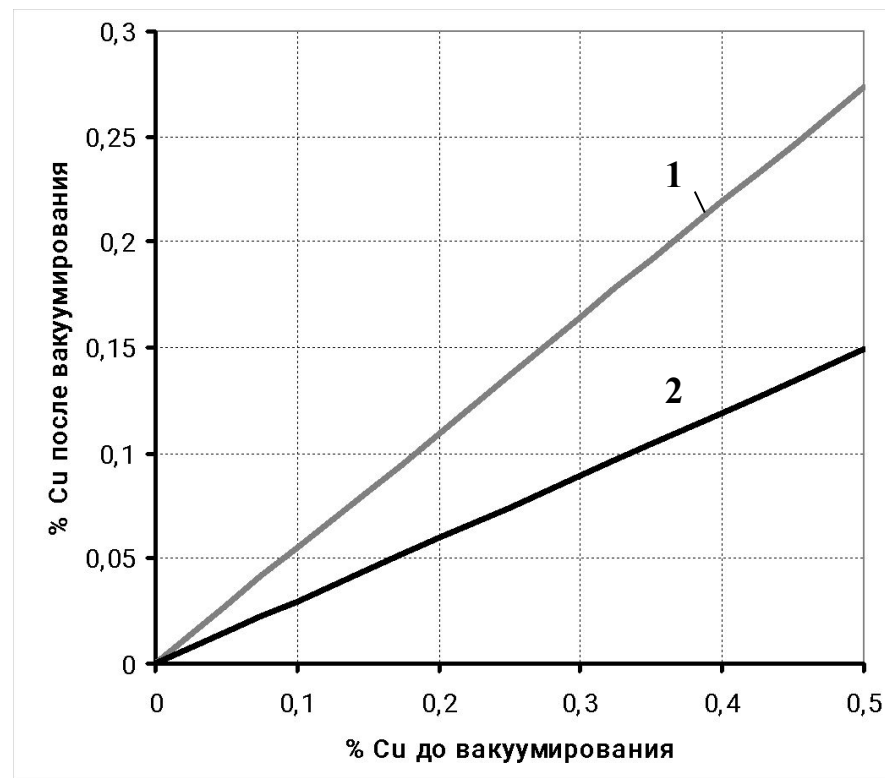
u' – количество испарившего железа, %;

α – коэффициент испарения примеси

	Fe	Mn	Cu	Sn	Si	S	As	P
α	1	150	60	22	10	7,5	3	0,6



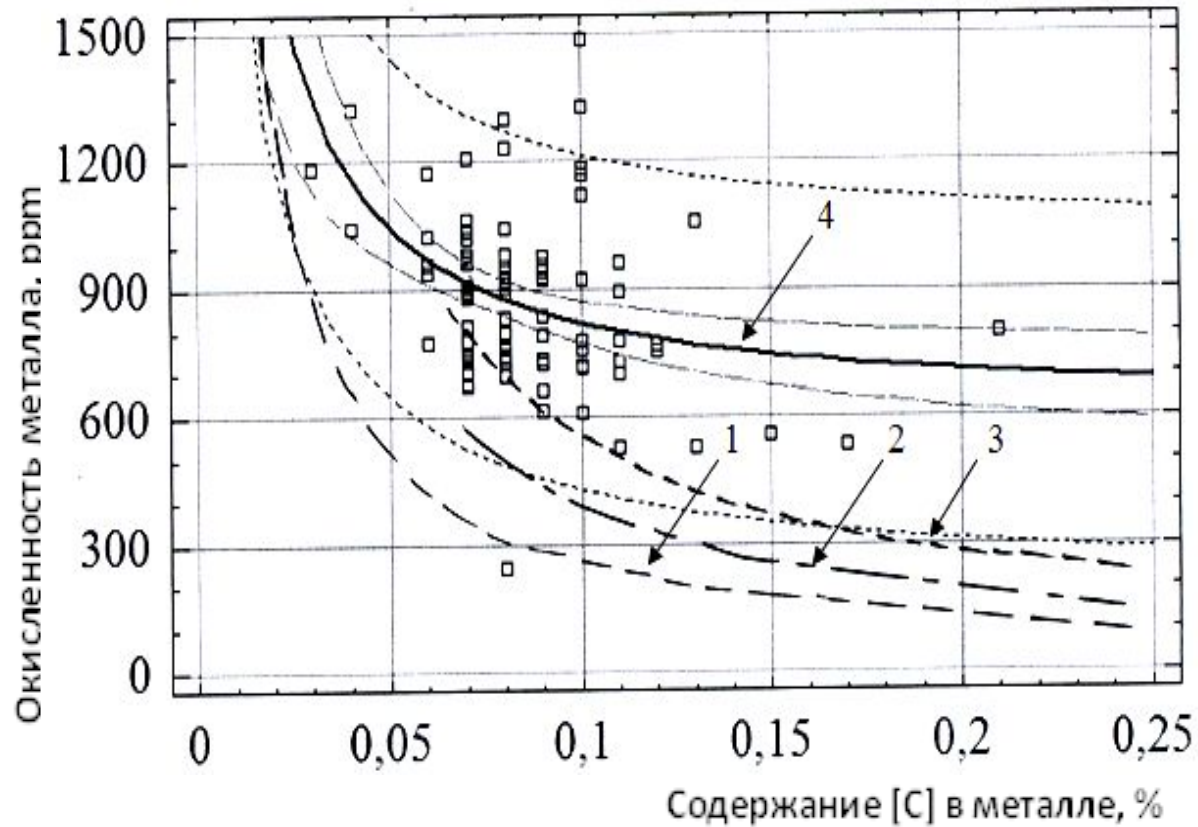
1 – Cu; 2 – Sn



При потерях испарением:

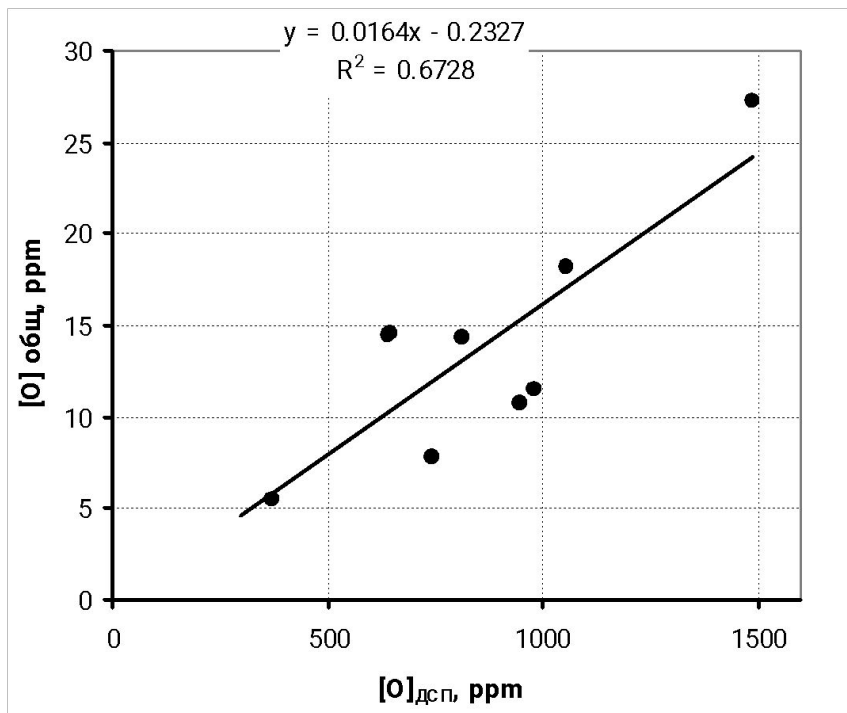
1 – 1% Fe; 2 – 2% Fe

Зависимость окисленности металла в ДСП от содержания [C] в сравнении с другими процессами

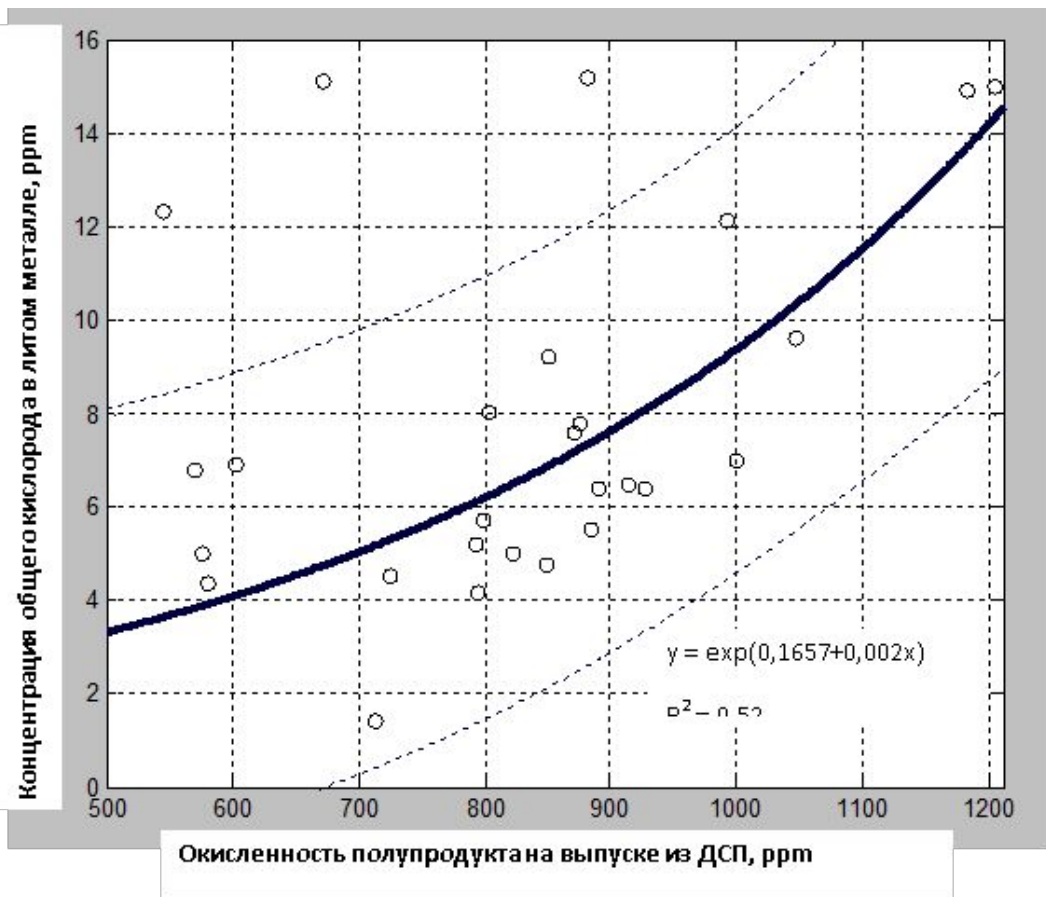


1 – равновесное значение содержания кислорода в металле $[C] \cdot [O] = 0,0025$; 2 – кислородно-конвертерный процесс; 3 – подовый процесс; 4 – окисленность металла в ДСП.

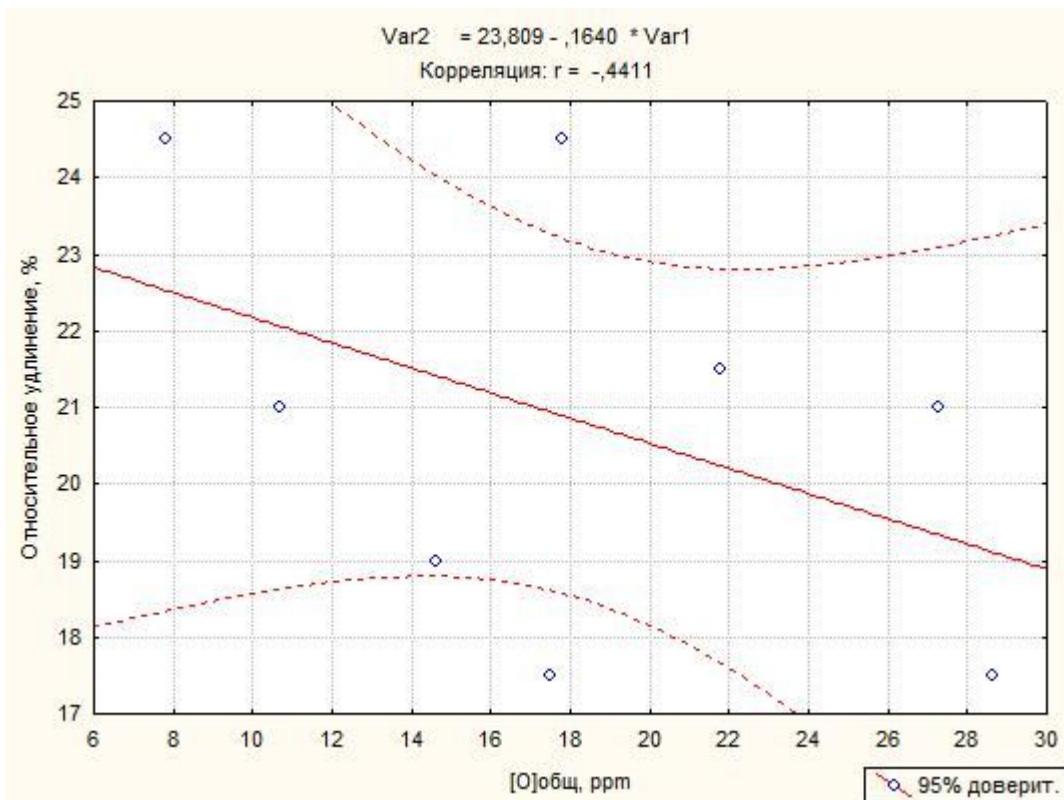
Влияние окисленности полупродукта на выпуске из ДСП на содержание общего кислорода в литом металле трубных марок сталей



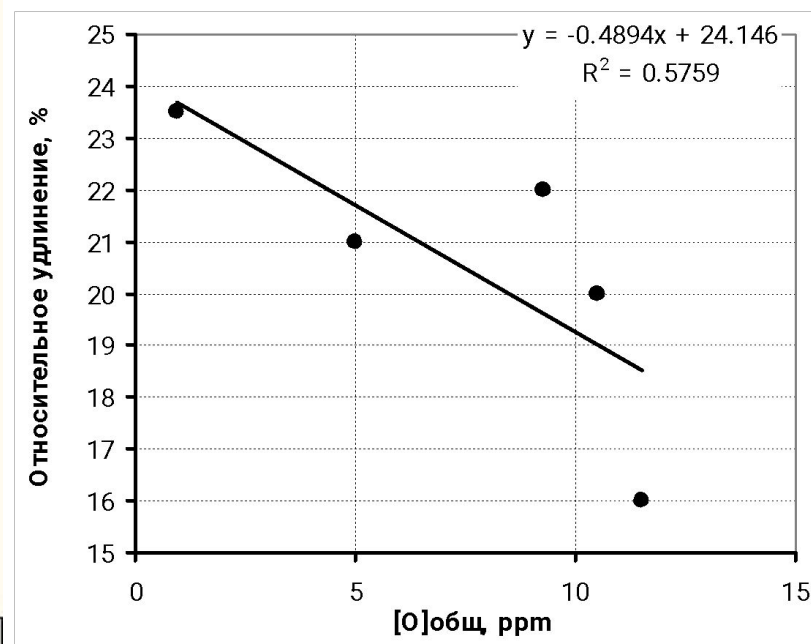
Сталь Д



Влияние содержания в металле общего кислорода на пластичность металла труб из стали Д

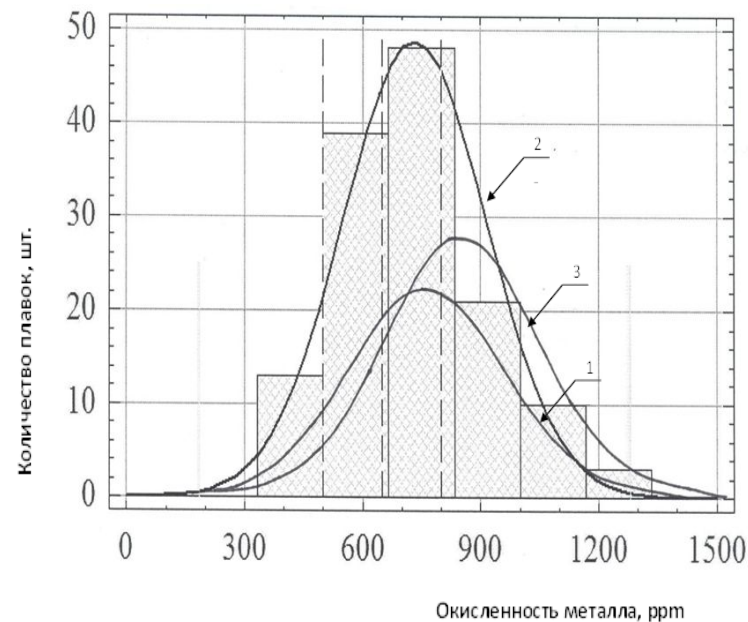
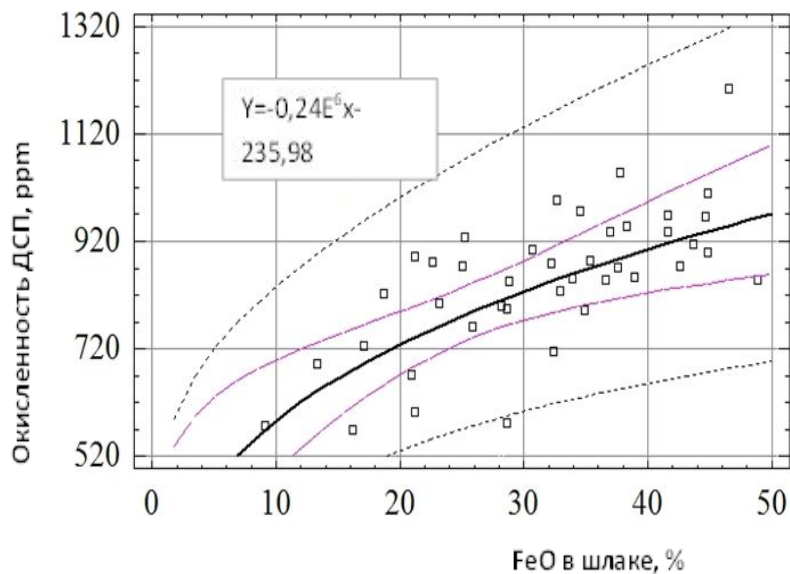
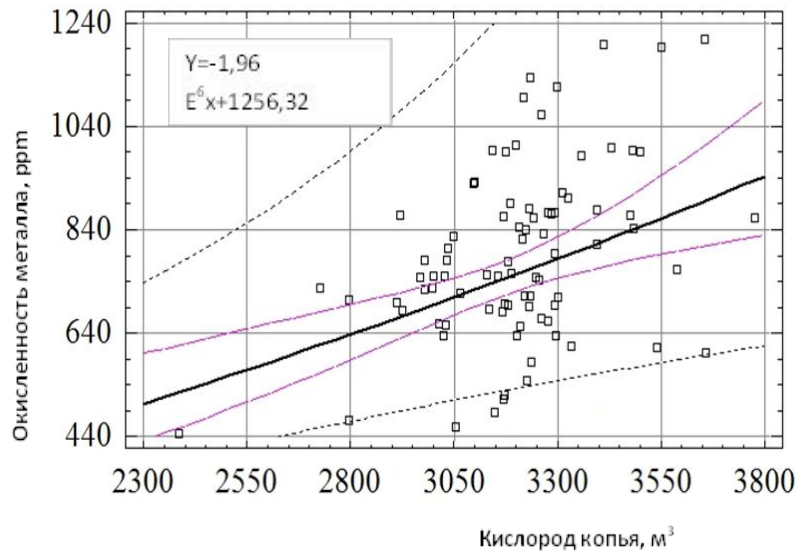


типоразмер трубы 245×7,9 мм×мм



типоразмер трубы
245×8,9 мм×мм

Влияние на степень окисленности металла расхода кислорода, технологии ввода углеродсодержащего материала в печь и содержания FeO в шлаке



1 – технология с завалкой чугуна в бадью; 2 – технология с использованием завалки антрацита в бадью; 3 – базовая технология.

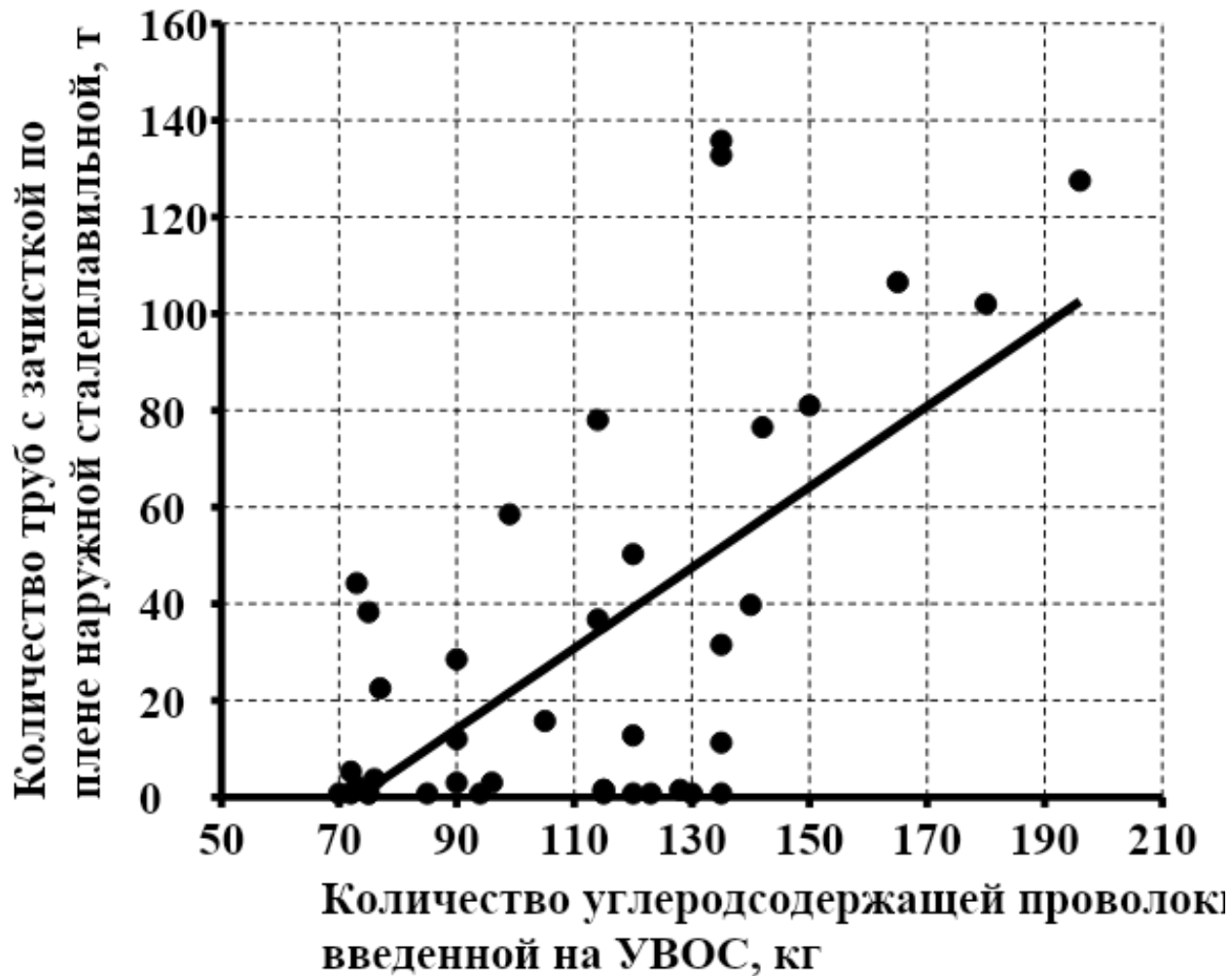
Оптимальные технологические параметры выплавки полупродукта в сверхмощной ДСП-135

- Общий расход кислорода - 38÷43 м³/т;**
- Количество антрацита, вводимого в ДСП, - 22÷23 кг/т. Из них в завалку (в бадьи) – 50÷52% от общего количества вводимого антрацита, через систему бункеров ДСП («сверху») - 39÷41 %, на вдувание - 8÷9 %;**
- Содержание в шлаке FeO 20÷30%, MgO 8÷9% при основности 2,0-2,3.**

Механические свойства стали 20ХМФА для трубы 324×11 мм

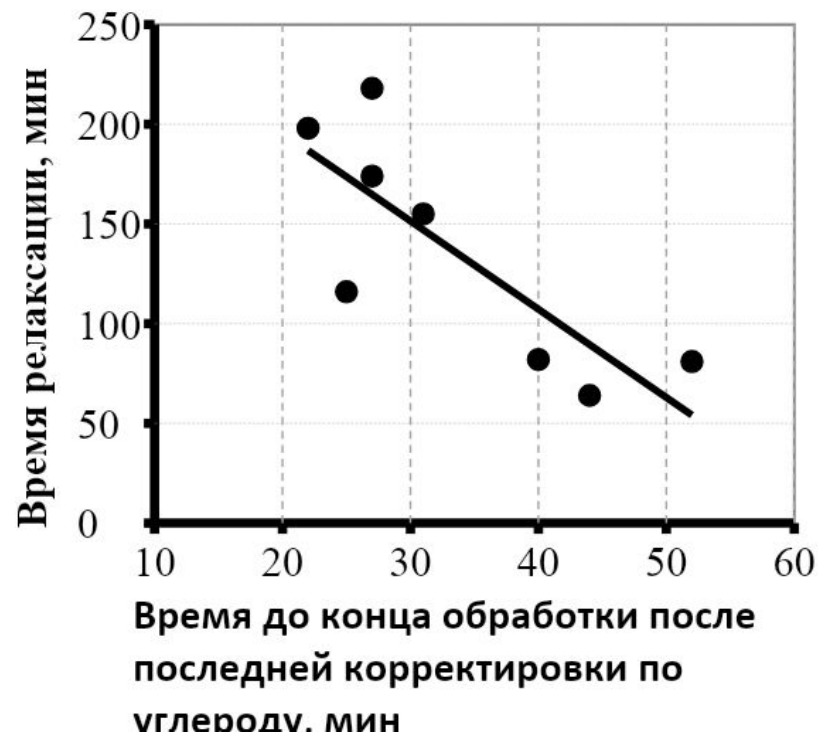
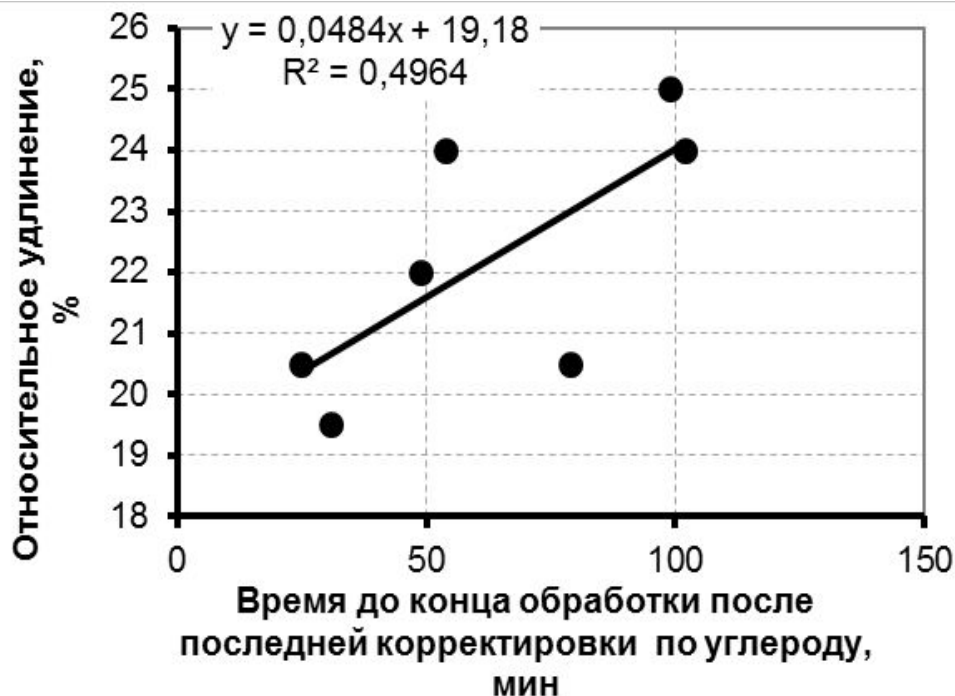
№ трубы	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	KCV ₆₀ , Дж/см ²		Доля вязкой составляющей В, %
				продольный	поперечный	
78 - 1	730	820	19,5	154	80	75
				145	86	68
78 - 2	750	830	18,5	150	65	71
				150	77	71
5 - 1	690	780	19,5	90	90	46
				112	72	51
5 - 2	700	790	20	106	56	51
				103	73	49
12 - 1	700	780	21	221	75	100
				217	83	100
12 - 2	690	780	19,5	120	98	60
				186	85	87
114 - 1	680	780	19,5	223	137	100
				222	107	100
114 - 2	690	790	18,5	227	157	100
				224	134	100
2 - 1	720	820	20,5	194	117	92
				136	107	60
2 - 2	720	810	19,5	218	103	100
				183	109	84

Влияние степени науглероживания в ходе обработки на УВОС на качество труб (полупродукт ДСП, сталь 32Г)

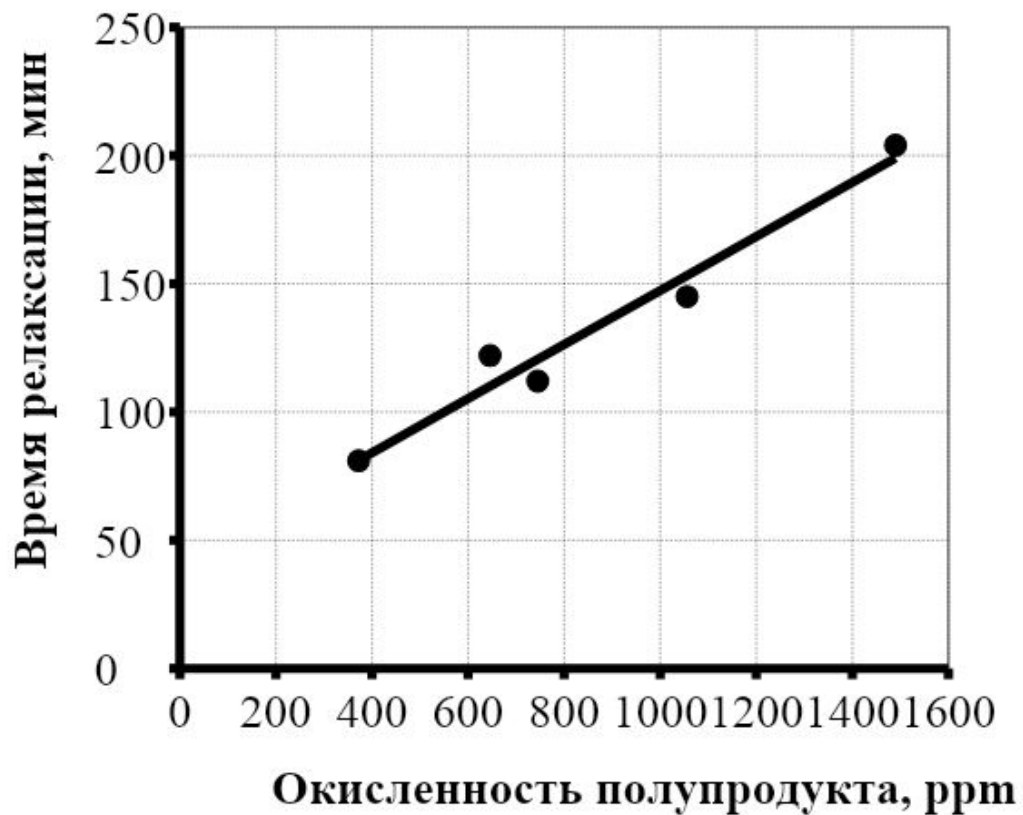


Влияние времени корректировки по углероду на УВОС на пластичность металла труб и равновесность расплава стали

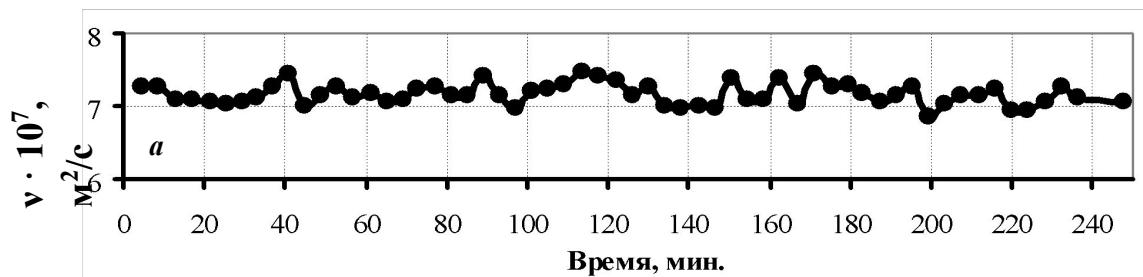
Д



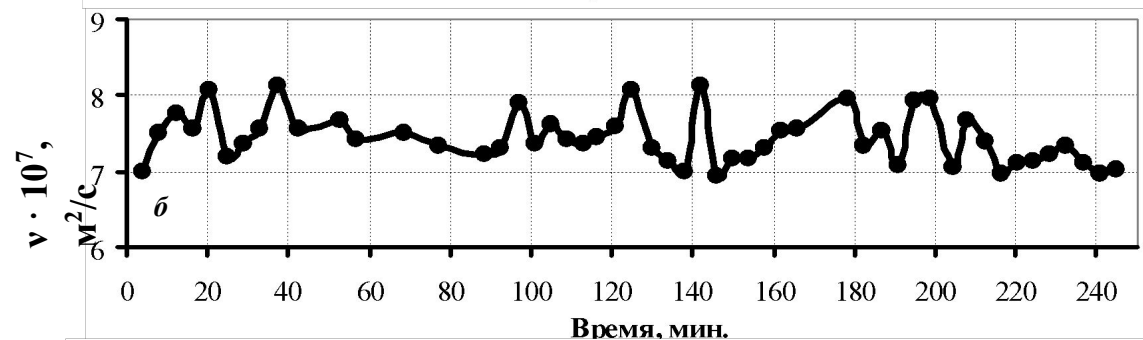
Влияние окисленности полупродукта на неравновесность расплава стали Д



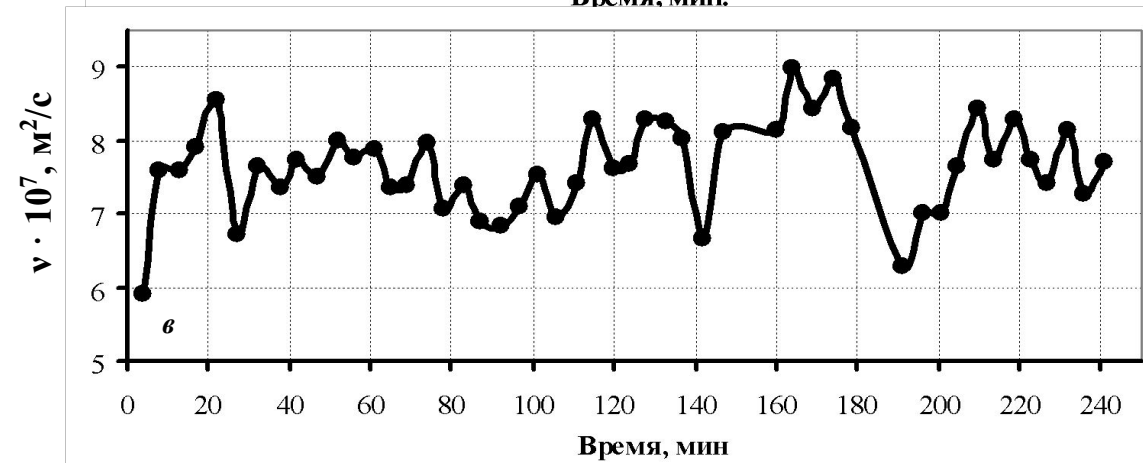
Оценка методом вискозиметрии влияния кислорода на динамику формирования расплава при науглероживании железа (0,1 масс.%)



Содержание кислорода 8 ppm

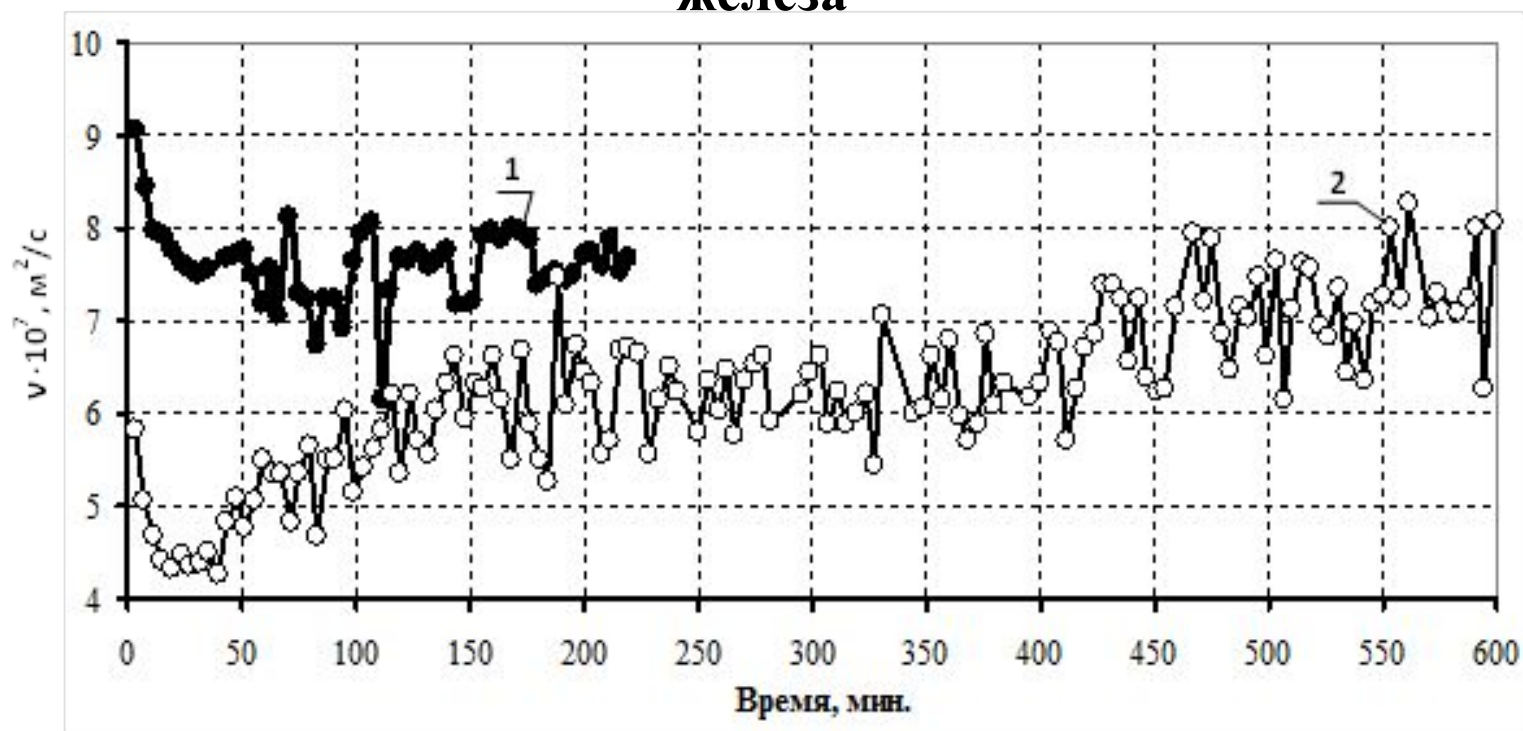


Содержание кислорода 15 ppm



Содержание кислорода 60 ppm

Оценка методом вискозиметрии влияния раскисления алюминием на динамику формирования расплава при науглероживании железа



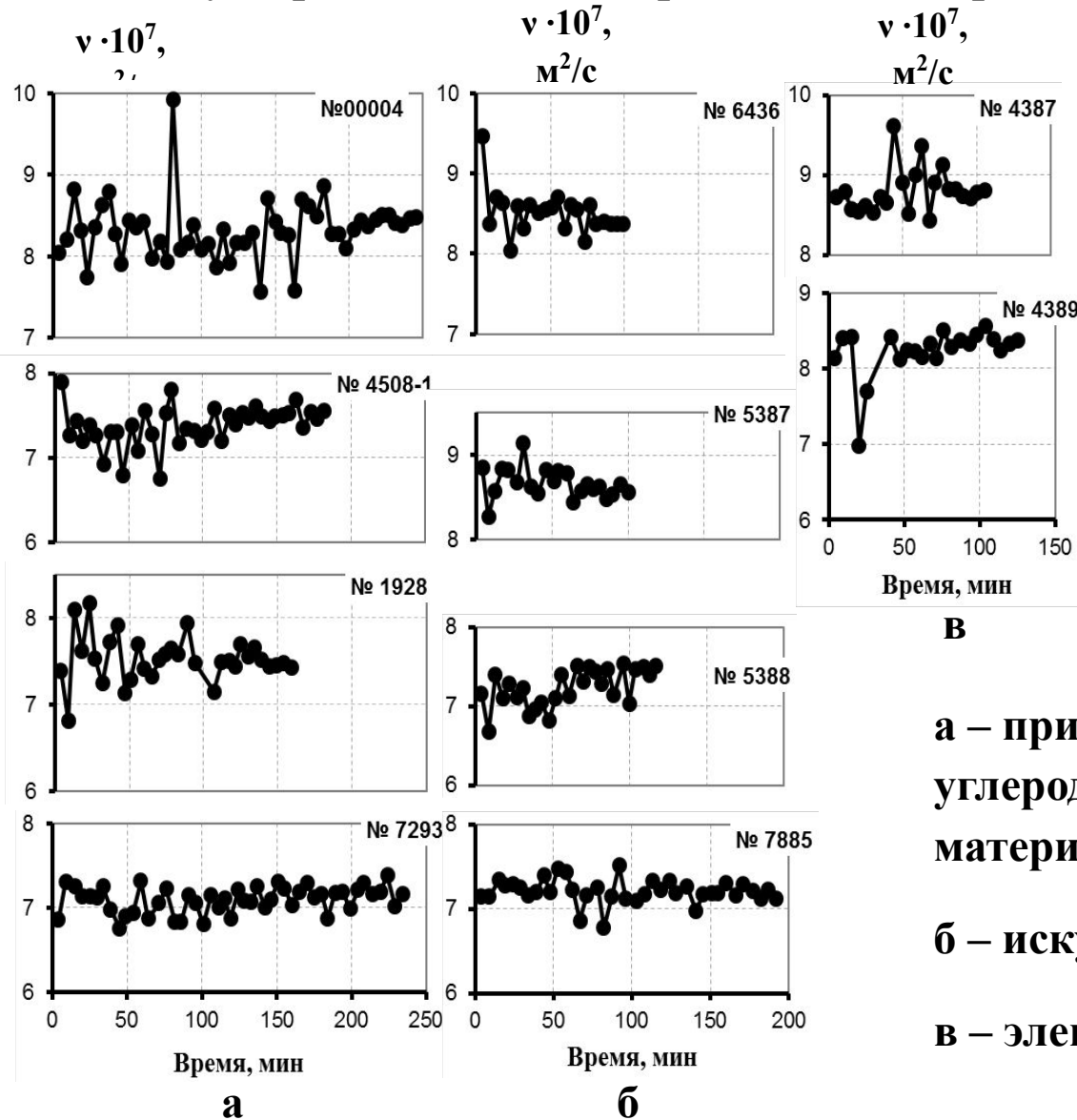
Окисленность исходного расплава железа – 625 ppm.

Остаточная концентрация алюминия: 1 – 0,03 масс.%; 2 – 0,005 масс.%

Металлургические свойства науглероживателей

Вид материала (марка)	Химический состав, %					
	Влага	Углерод	Зольность	Летучие вещества	Азот	Зерновой состав, мм
1. Антрацит, другие высокоуглеродистые природные материалы (ВУМ)	Требования НД					
	Не более 3,0	Не менее 90,0	Не более 7,0	Не более 5,0	Не реглам	10-30 20-50 50-80
	Фактический химический состав, $\frac{\text{ГОСТ} - \text{ГОСТ}}{\text{среднее}}$					
	<u>0,04-4,5</u> 1,7	<u>85,2-98,0</u> 92,9	<u>1,5-11,9</u> 5,0	<u>0,4-7,7</u> 2,5	<u>0,8-1,5</u> 1,1	10-30 20-50 50-80
2. Графит искусственный измельчённый марки ГИИ-А	Требования НД					
	Не более 1,0	Не менее 97,0	Не более 1,7	Не реглам	Не более 0,25	10-30 20-50 50-80
	Фактический химический состав, $\frac{\text{ГОСТ} - \text{ГОСТ}}{\text{среднее}}$					
	<u>0,04-1,0</u> 0,5	<u>97,0-99,5</u> 97,5	<u>0,05-1,7</u> 1,2	<u>0,3-2,5</u> 1,0	<u>0,005-0,2</u> 0,1	2-15
3. Бой электродов	Требования НД – не регламентируются					
	Фактический химический состав, $\frac{\text{ГОСТ} - \text{ГОСТ}}{\text{среднее}}$					
	<u>0,04-1,0</u> 0,4	<u>97,0-99,8</u> 98,4	<u>0,1-1,7</u> 0,59	<u>0,25-2,5</u> 1,0	<u>0,005-0,01</u> 0,008	2-15

Оценка методом вискозиметрии влияния типа науглероживателя на неравновесность расплава стали Д



- а** – природные углеродсодержащие материалы;
- б** – искусственные графиты;
- в** – электродный бой

Технология науглероживания и раскисления металла на примере стали марки Д

Период	Брак НЛЗ Ø 360, 400мм по дефекту «холодная продольная трещина», %	Расход алюминий- и углеродсодержащих материалов в ковш на выпуске плавки из ДСП, кг/ковш				Расход углеродсодержащих материалов на УВОС, кг/ковш	
		FeAl50 или и	Al _{ГРАН}	Антрацит или ВУМ	Графит	ВУМ	С-проволока
1	8,69	100	70	450	-	-	до 150
2а	2,18 ÷ 2,8	450	200	400	-	100÷200	до 100
2б	3,17	450	200	500	-	100÷150	до 150
3а	0,00 ÷ 0,49	450	200	-	450	-	до 100
3б	0,01	500	270	-	450	-	до 100

Основные положения комплексной технологии раскисления и науглероживания полупродукта ДСП

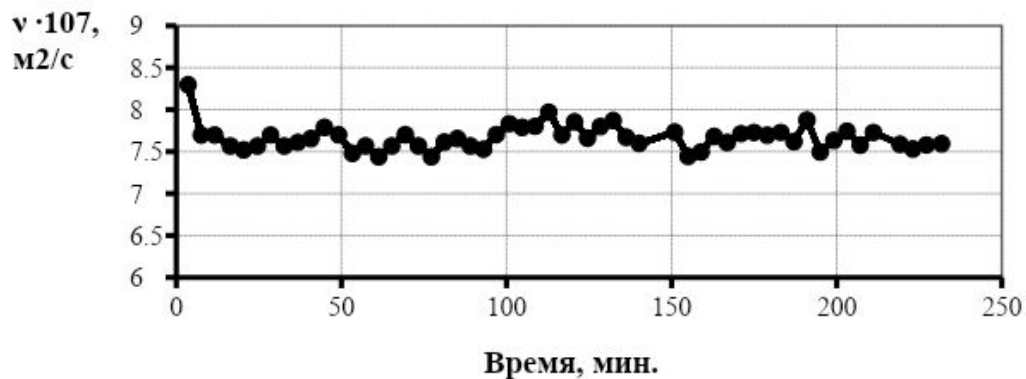
- Опережающее раскисление металла**
- Использование для раскисления гранулированного алюминия**
- Расход алюминия определяется получением остаточной концентрации алюминия в металле не менее 0,015-0,020 %**
- Использование для науглероживания полупродукта искусственных графитов или электродного боя**
- Величина корректировок по углероду на УВОС не должна превышать 0,05-0,07 %**
- Корректировки по углероду должны быть смещены на начальные этапы внепечной обработки**

Технологические принципы использования карбида кремния и графита для науглероживания расплава железа

- **Использование карбида кремния для решения комплексной задачи предварительного раскисления и частичного науглероживания высокоокисленного полупродукта**
- **Приоритетное использования графита при науглероживании раскисленного полупродукта**

Влияние серы на динамику формирования расплава при науглероживании железа (0,1 масс.% углерода)

[S] = 1÷2 ppm



[S] = 500 ppm

