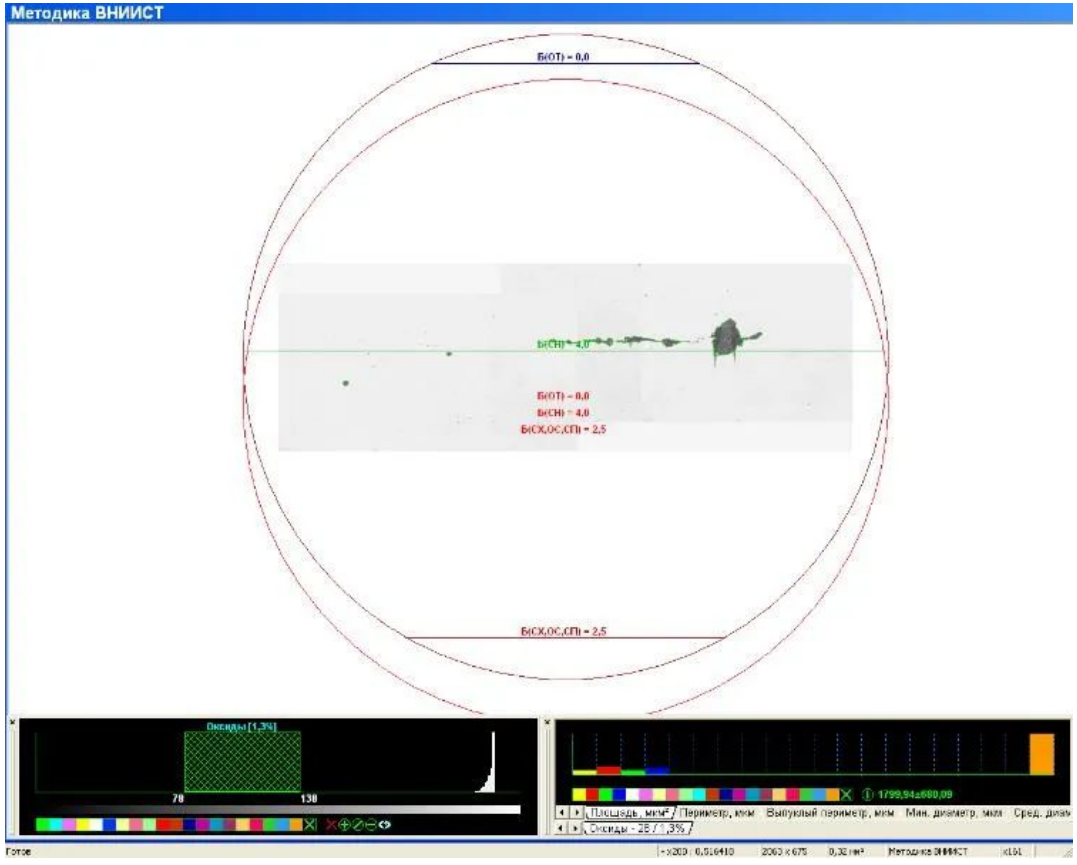
ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ



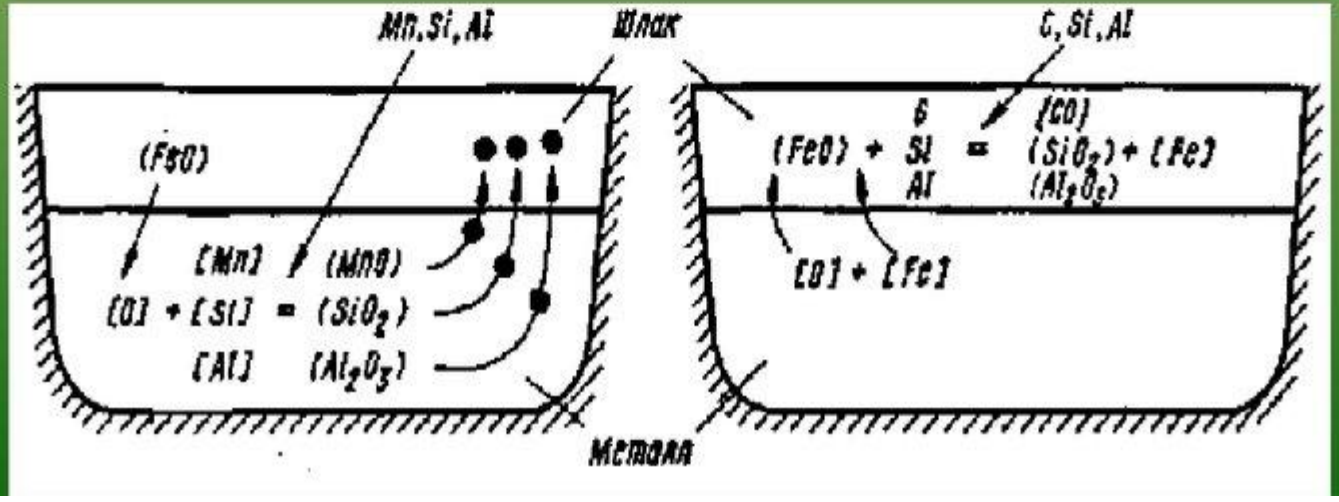
Способы раскисления стали

Раскисление стали - понижение содержания кислорода в стали или связывание его в достаточно прочные соединения

Специальные способы раскисления(обработка синтетическими шлаками; раскисление в вакууме)

Осаждающее раскисление

Диффузионное раскисление



Коэффициенты ликвации примесей в железе

Элемент	Δt, °C*	Коэффициент ликвации		
		K	$1-K$	
		$\delta-Fe$	$\delta-Fe$	$\gamma-Fe$
1	2	3	4	5
S	30	0,02	0,98	0,98
O	65	0,02	0,98	0,98
B	90	0,05	0,95	0,96
P	28	0,13	0,87	0,94
C	73	0,13	0,87	0,64
Ti	18	0,14	0,86	0,93
N	–	0,28	0,72	0,46
H	–	0,32	0,68	0,55
Cu	7	0,56	0,44	0,12
Si	12	0,66	0,34	0,50
Mo	2	0,80	0,20	0,40
Ni	3,5	0,80	0,20	0,05

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5
Mn	3	0,84	0,16	0,05
Co	1,8	0,90	0,10	0,05
Y	2	0,90	0,10	–
Al	3	0,92	0,08	–
W	<1	0,95	0,05	0,50
Cr	1	0,95	0,05	0,15

* Δt – понижение температуры плавления металла при введении 1% элемента

Из приведенных данных видно, что в расплавах железа более других склонны к ликвации сера, кислород, бор, фосфор, углерод, титан

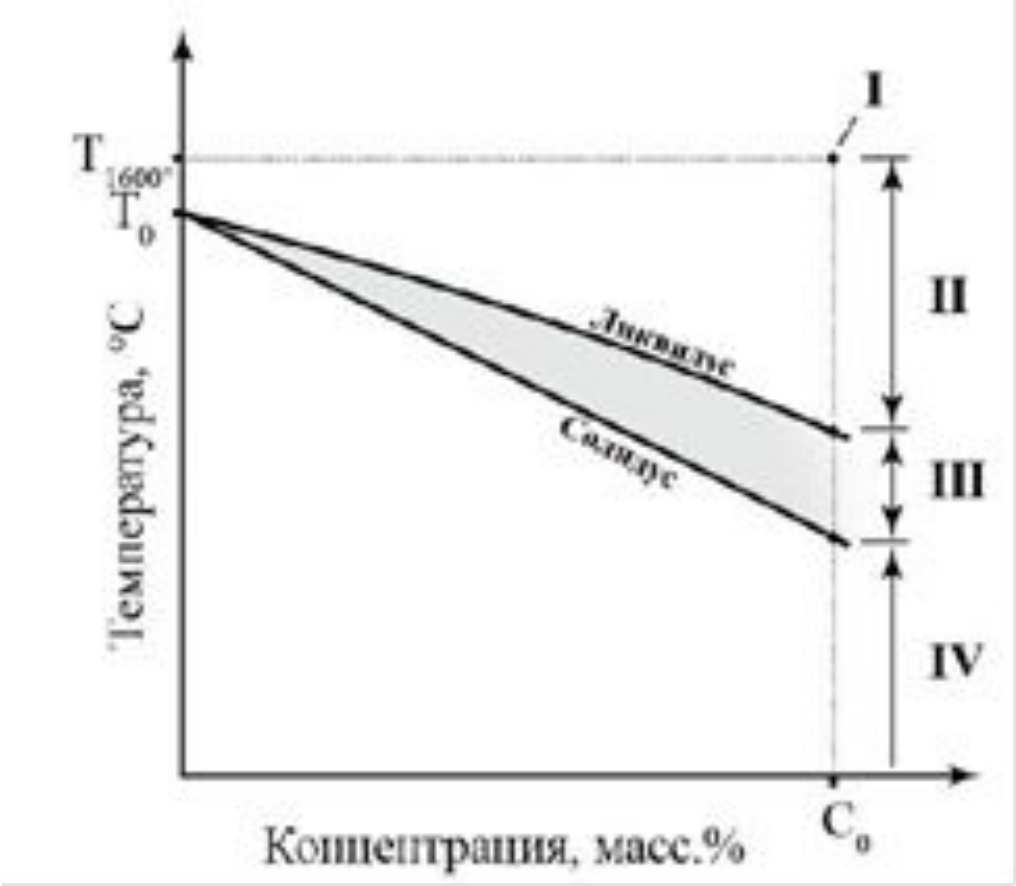
Образование и эволюция НВ

Наряду с эндогенными НВ, то есть образованными внутри расплава, существуют и **экзогенные** НВ, то есть привнесенные извне (футеровка ковша, огнеупорные материалы сталевыпускного и погружного стаканов, литейного припаса, шлак и др.).

Случайная природа экзогенных включений не позволяет прогнозировать вероятность их появления в расплаве, которая зависит от металлургической культуры производства стали.

Эндогенные НВ – продукты раскисления, образование которых может быть описано на основе известных физико-химических закономерностей.

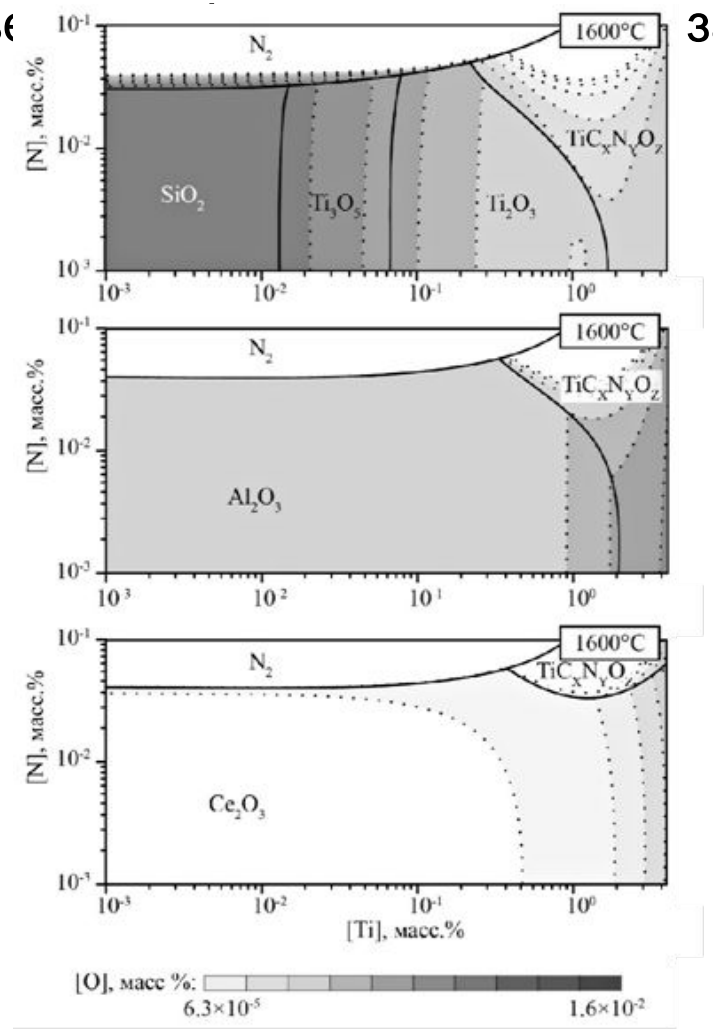
По температурно-временной природе можно различить следующие типы НВ



Классификация НВ по температурно-временной природе:
I – первичные, II – вторичные, III – третичные, IV – четвертичные

Первичные образуются в изотермических условиях внепечной обработки после присадки элементов-раскислителей, когда их концентрации превышают равновесные значения.
Вторичные (докристаллизационные) образуются при охлаждении от температуры плавки до температуры начала кристаллизации, когда растворимость кислорода и элементов-раскислителей в расплаве снижается.
Третичные (кристаллизационные) образуются в процессе затвердевания стали не только за счет снижения ее температуры, но, и главным образом, из-за обогащения ликвирующими примесями жидкой части дендритной ячейки. **Четвертичные** образуются в твердом металле из-за снижения растворимости примесей при снижении температуры твердой стали, а также выделяются при распаде аустенита, в котором растворимость большинства примесей существенно больше, чем в феррите.

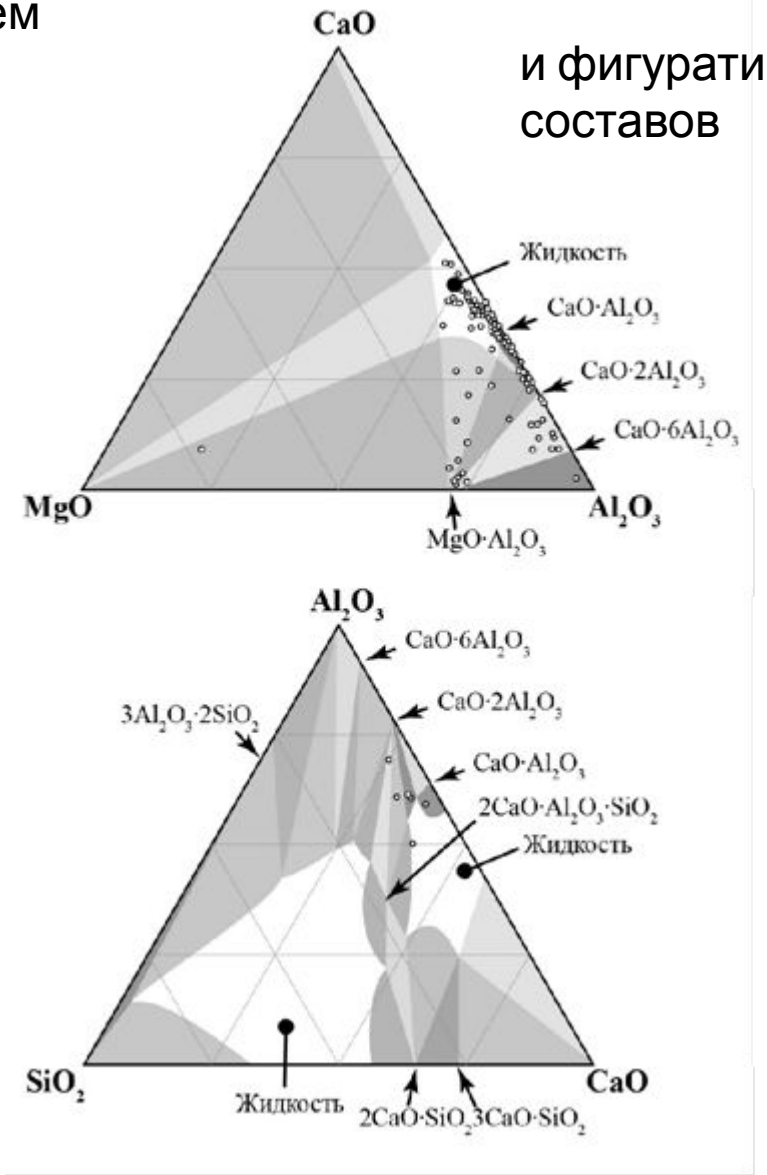
Для целенаправленного поиска путей и средств управления морфологией неметаллических включений, определяемой их составом и температурно-временной природой, используются детерминированные математические модели, построенные на изве закономерностях.



Расчет диаграмм состояния многокомпонентных многофазных систем

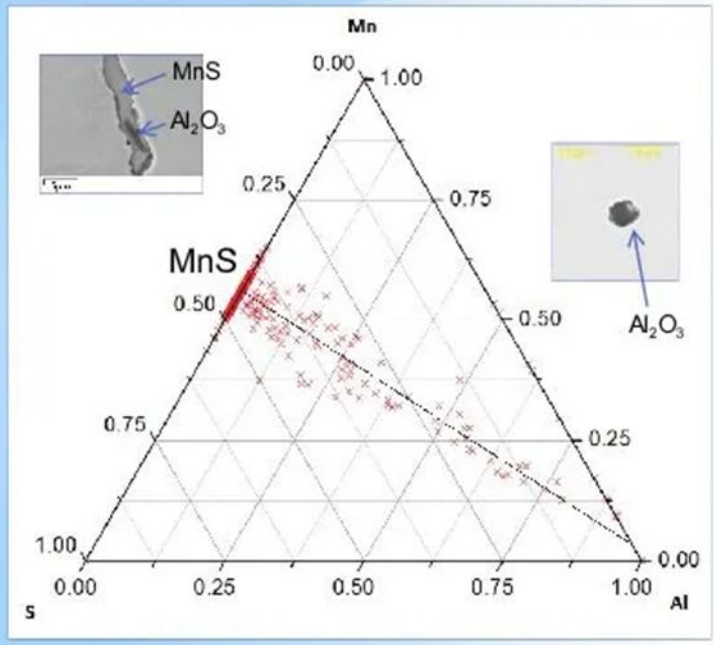
Фазовые диаграммы оксидных систем

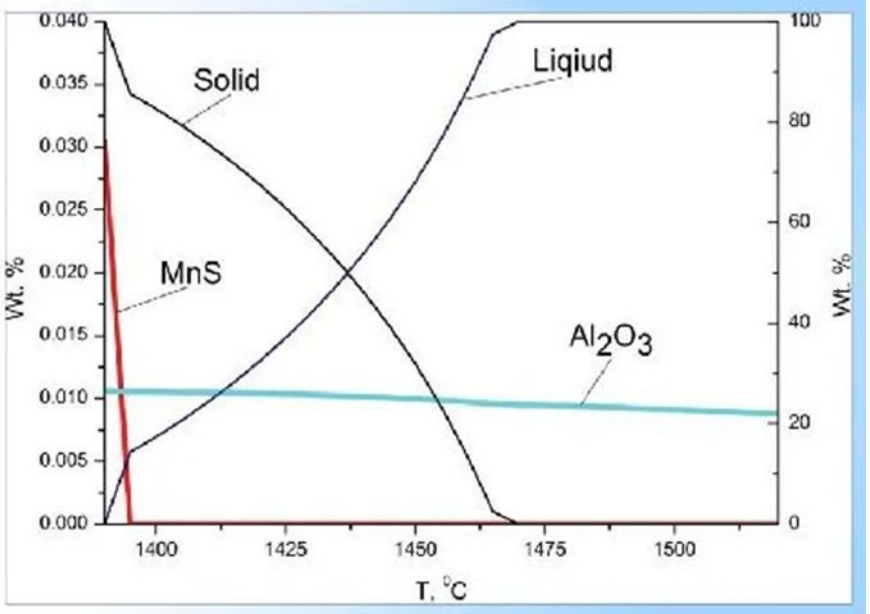
и фигуративные точки составов



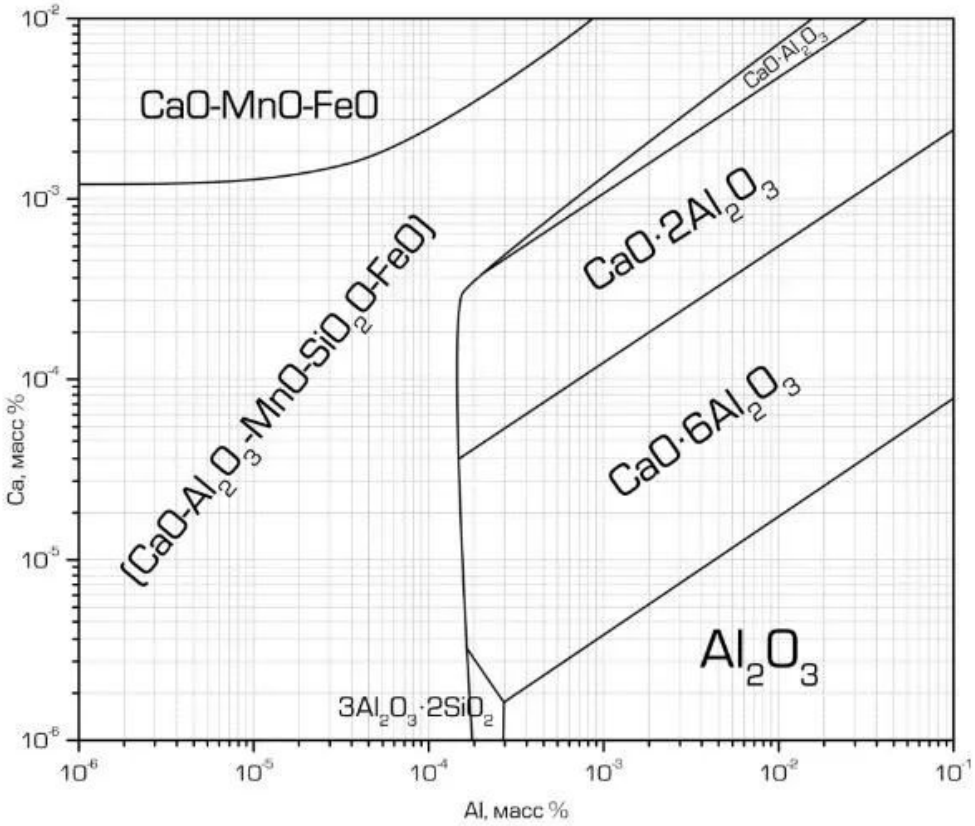
Примеры использования автоматического анализа частиц

ОКСИДЫ И СУЛЬФИДЫ В РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

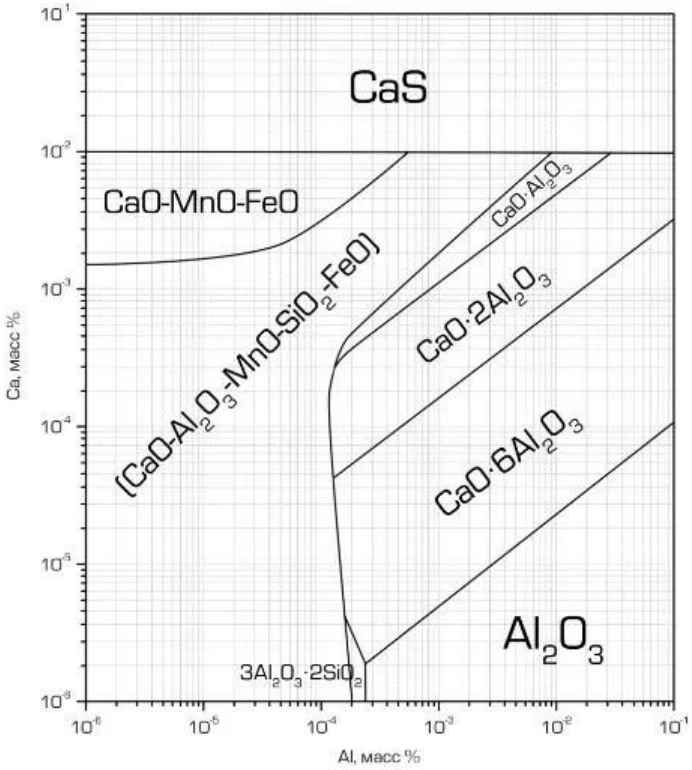




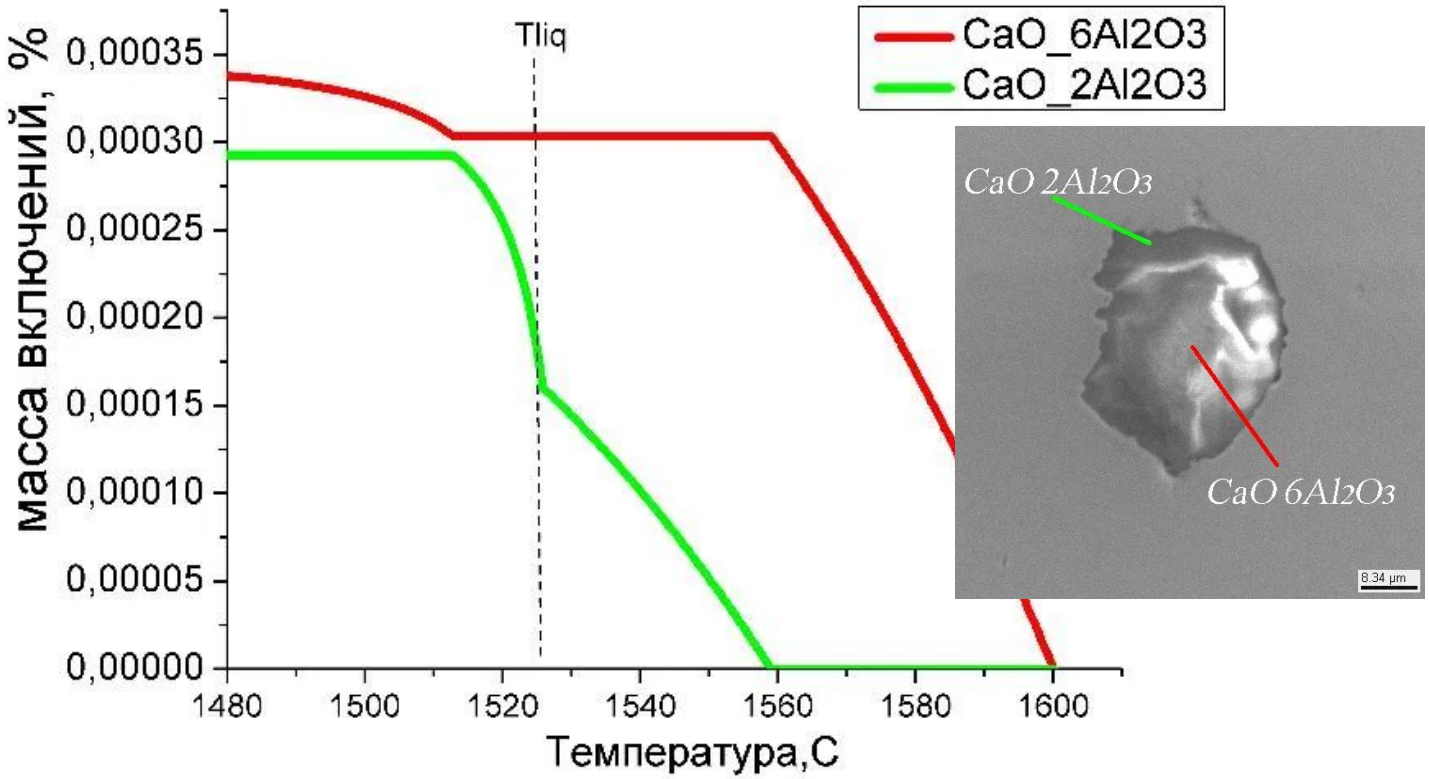
Оценка остаточных концентраций реагентов в стали, при которых образуется НВ найденного состава



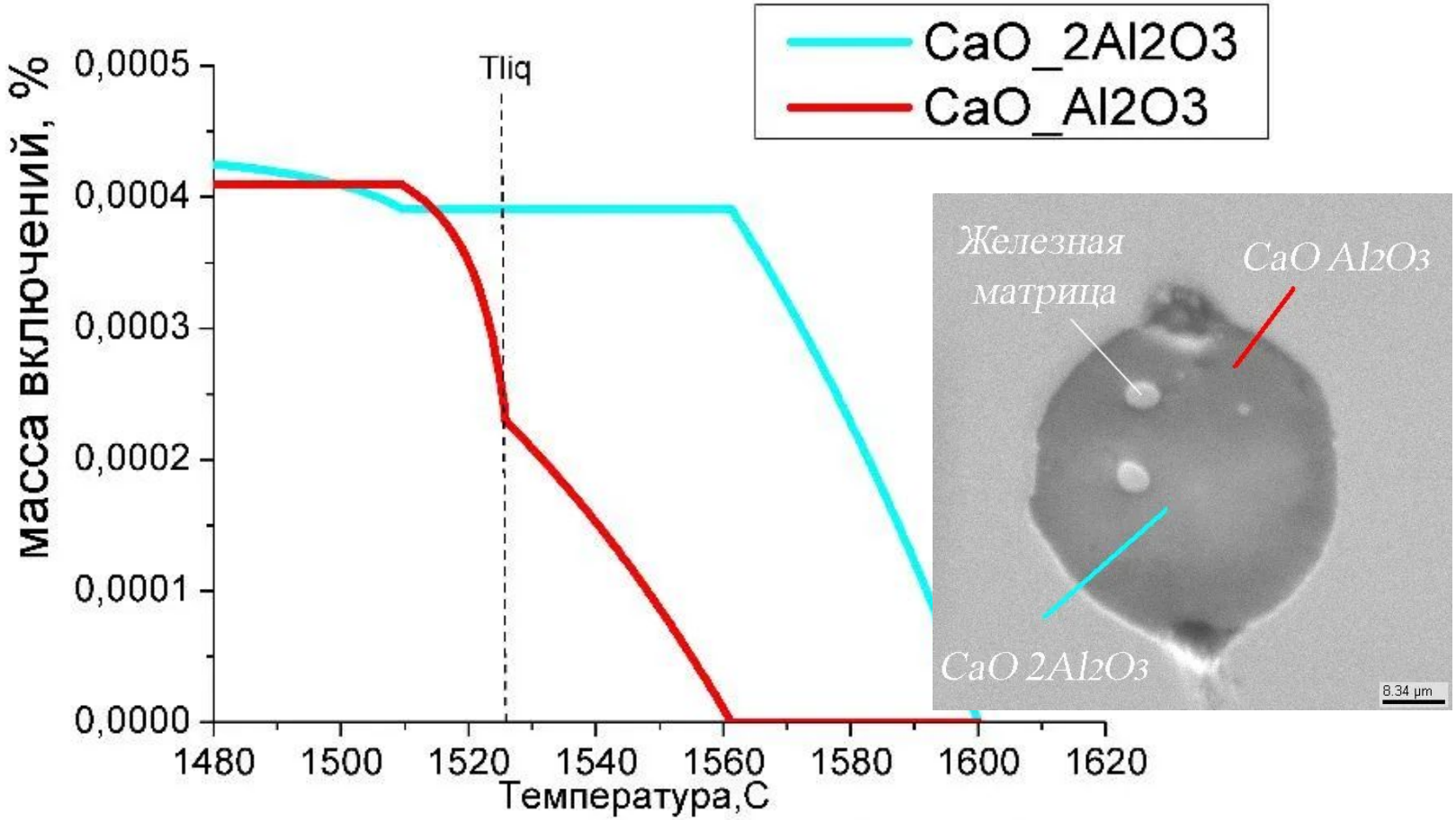
Fe, 0.07% C, 0,25% Si, 1.3% Mn, Ca, Al, O при 1500°C



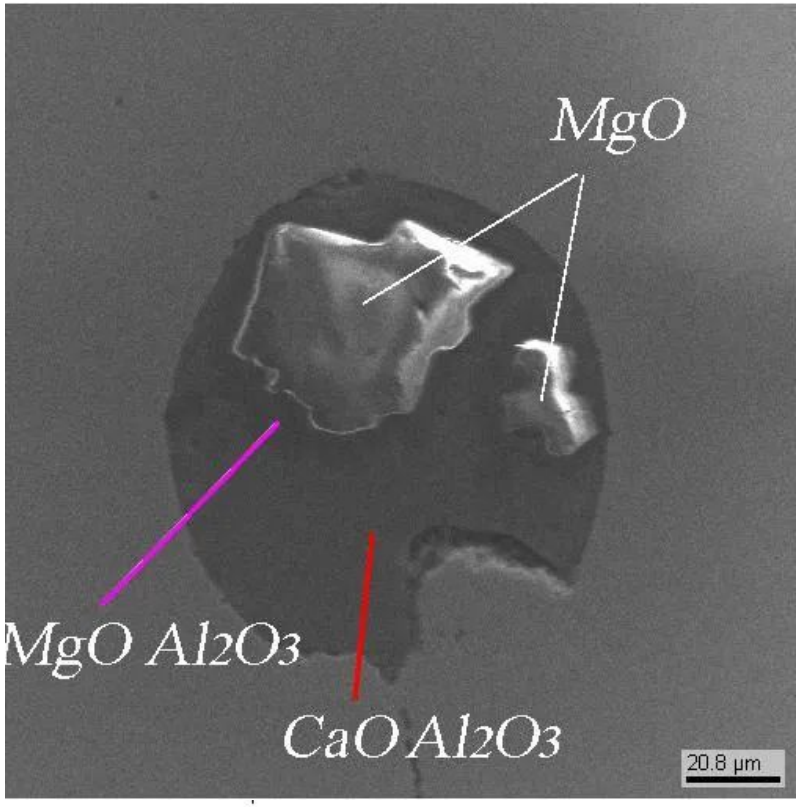
Fe, 0.07% C, 0.25% Si,1.3% Mn, 0.01% S, Ca, Al, O при 1500°C

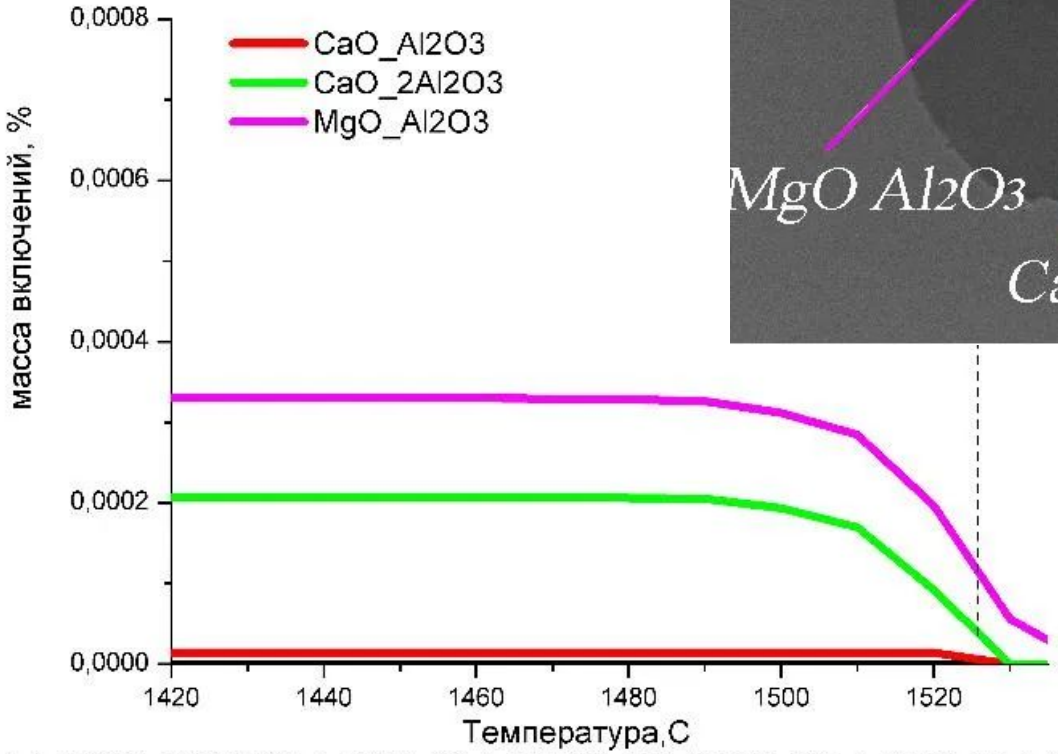


[Al]=0.03%; [Ca]=0.002%;[C]=0.07%;[Si]=0.25%;[Mn]=1.3%;[S]=0.005%;

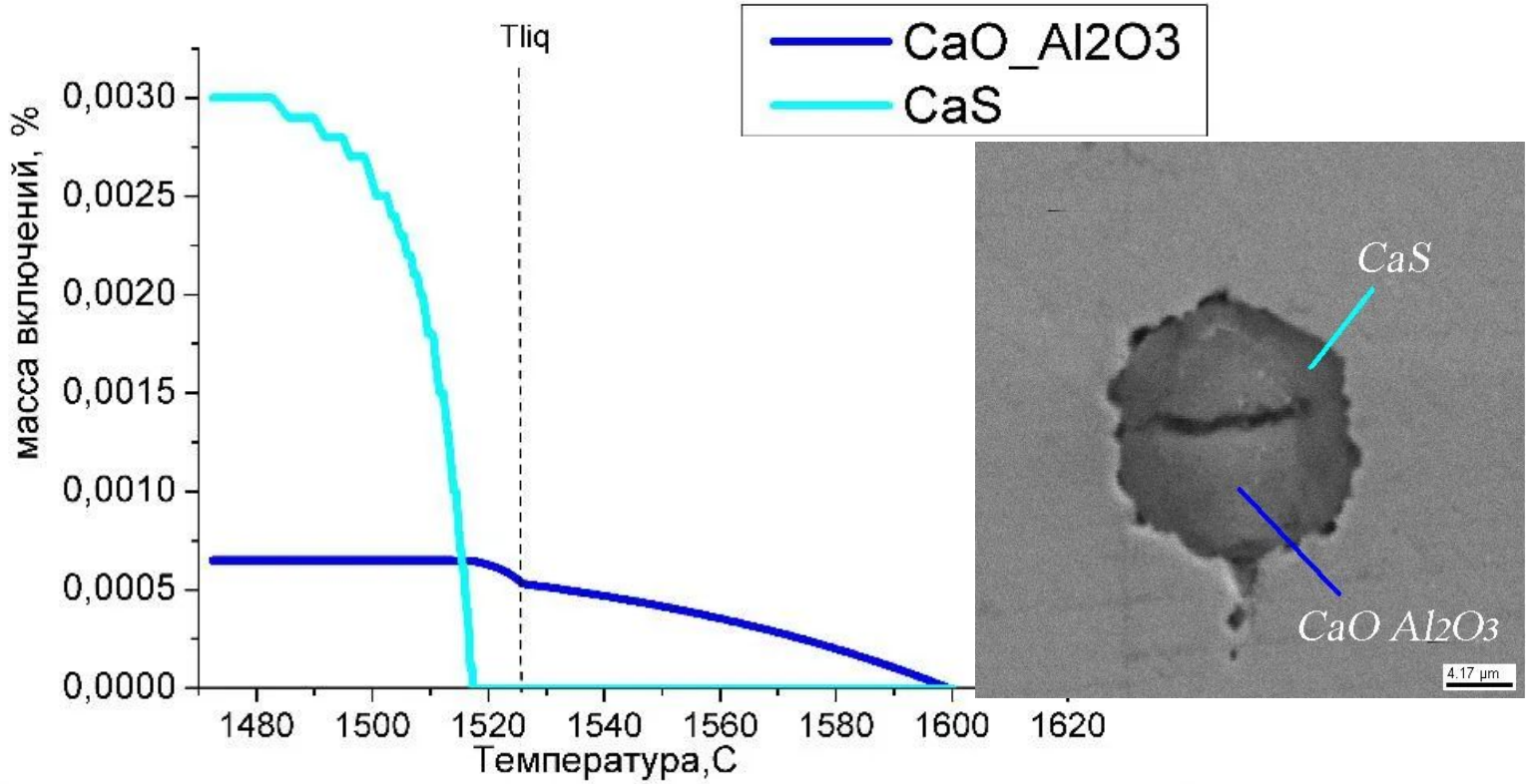


[Al]=0.0015%; [Ca]=0.008%;[C]=0.07%;[Si]=0.25%;[Mn]=1.3%;[S]=0.001%;



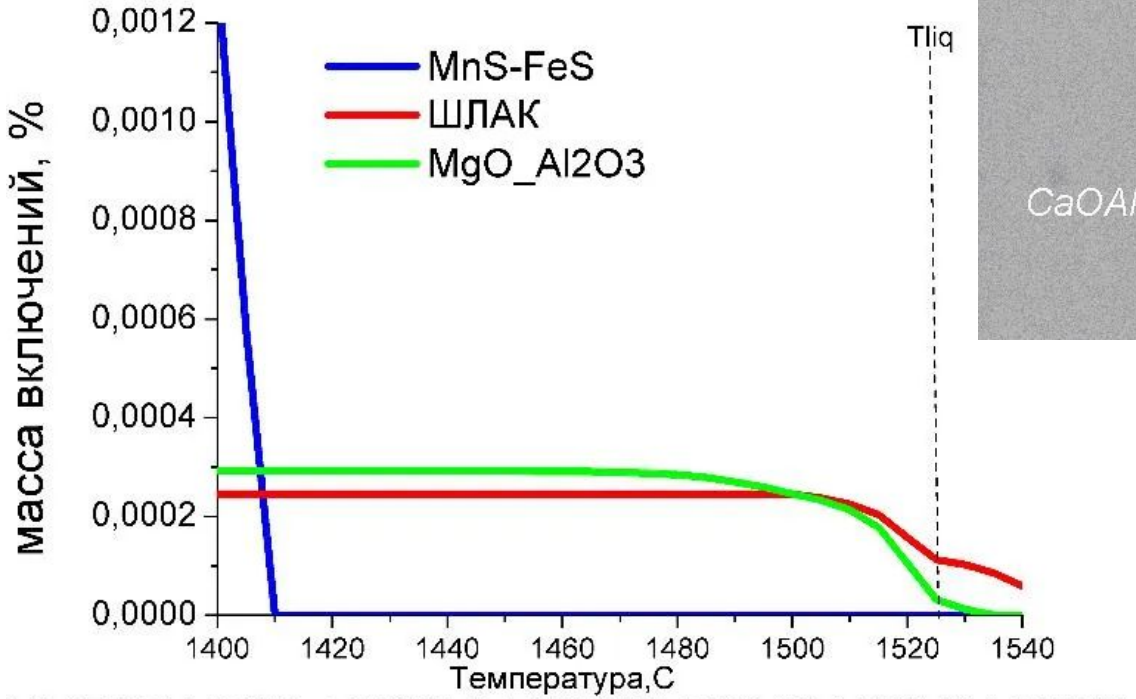


[Mn]=1.3%[C]=0.09%[S]=0.001% [Ca]=0.001% [Al]=0.02% [O]=0.002% [Mg]=0.00015%

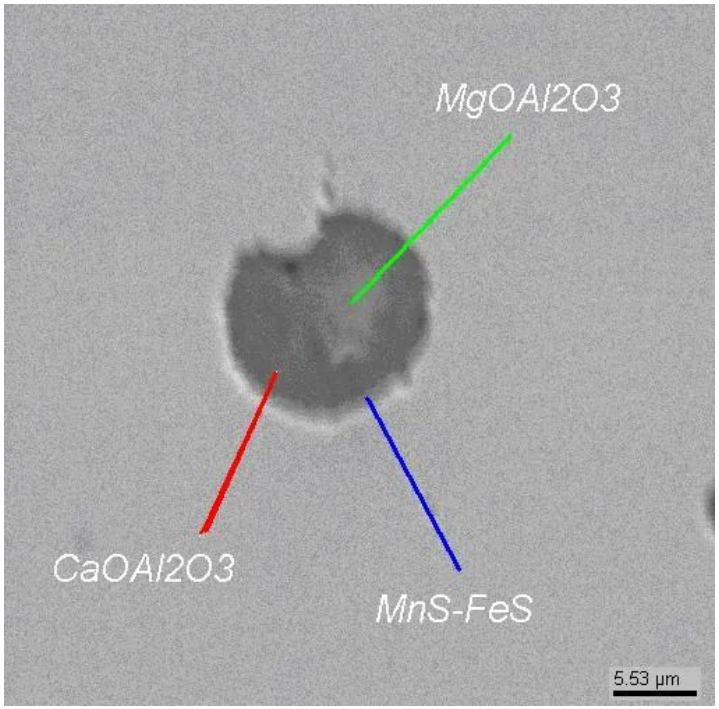


[Al]=0.02%; [Ca]=0.012%;[C]=0.07%;[Si]=0.25%;[Mn]=1.3%;[S]=0.005%;

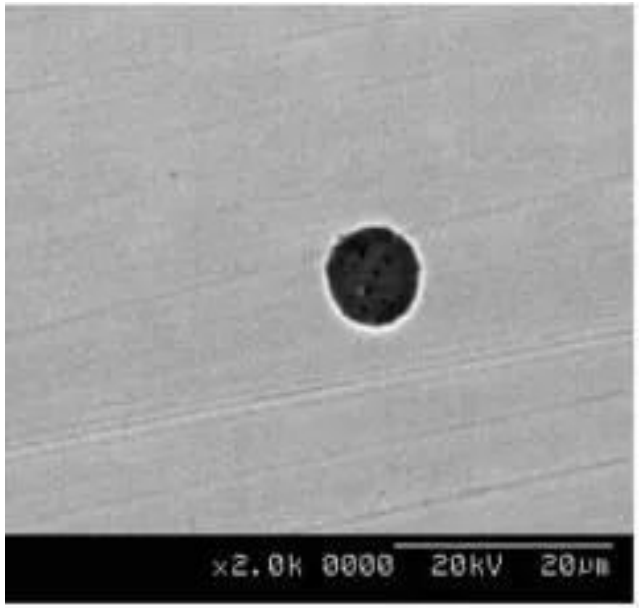
Раскрытие термовременной природы неметаллических включений



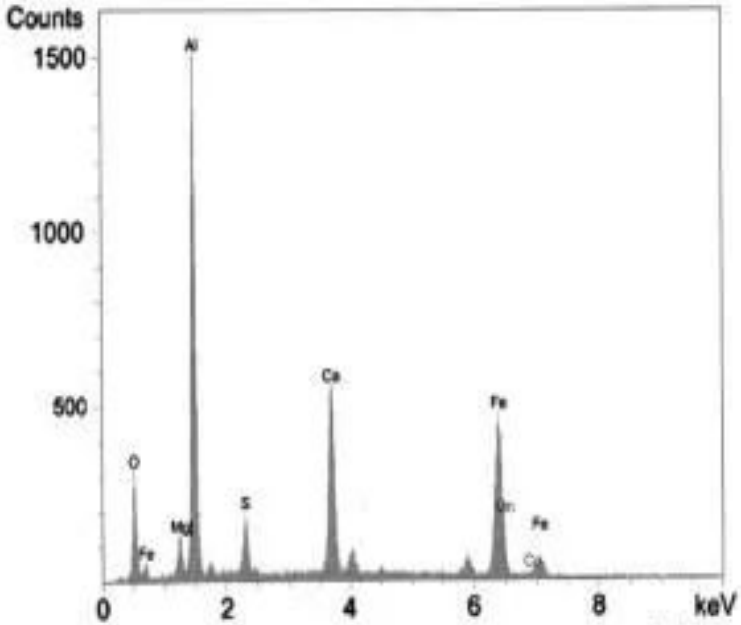
/n]=1.7%[C]=0.09%[S]=0.003% [Ca]=0.0005% [Al]=0.04% [O]=0.001% [Mg]=0.0001%



Рентгеновские спектры неметаллических включений в стали

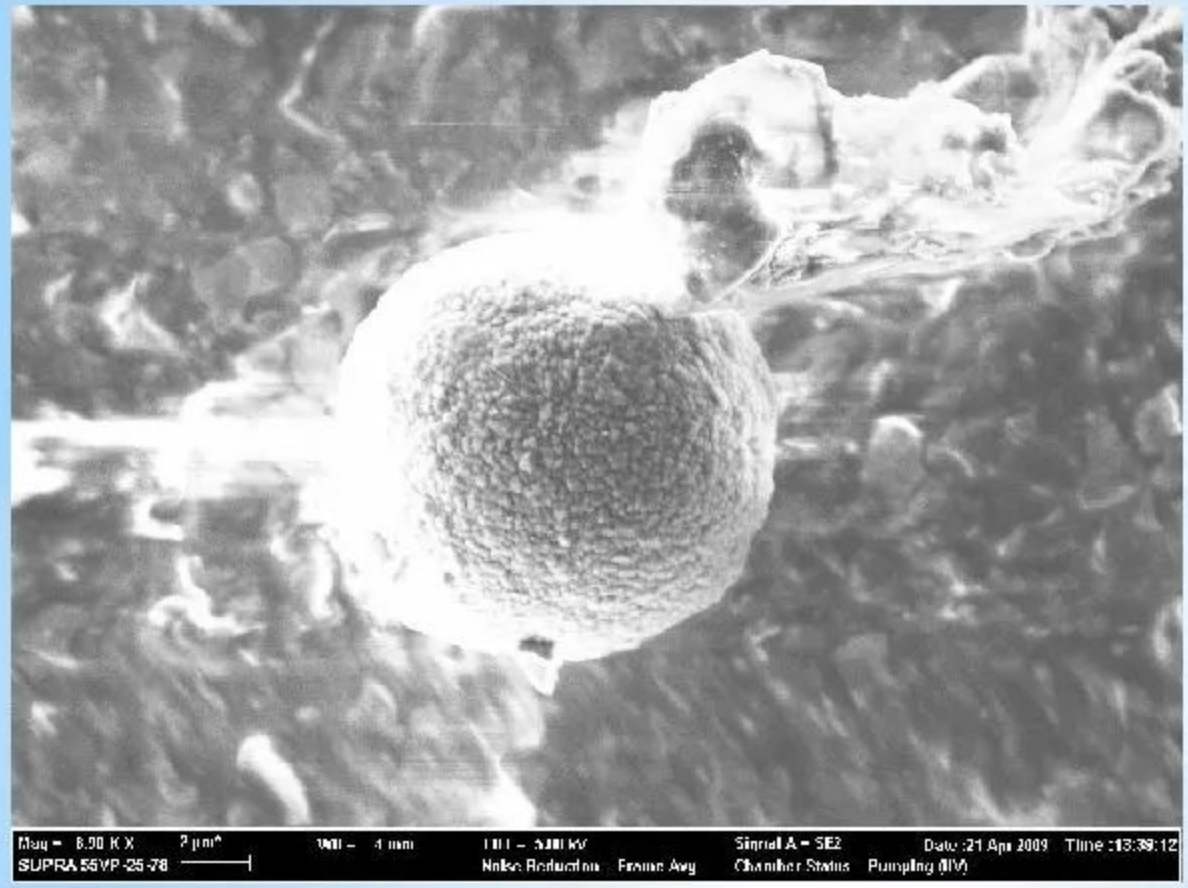


(a)



(b)

Проблемы ввода частиц в расплавы



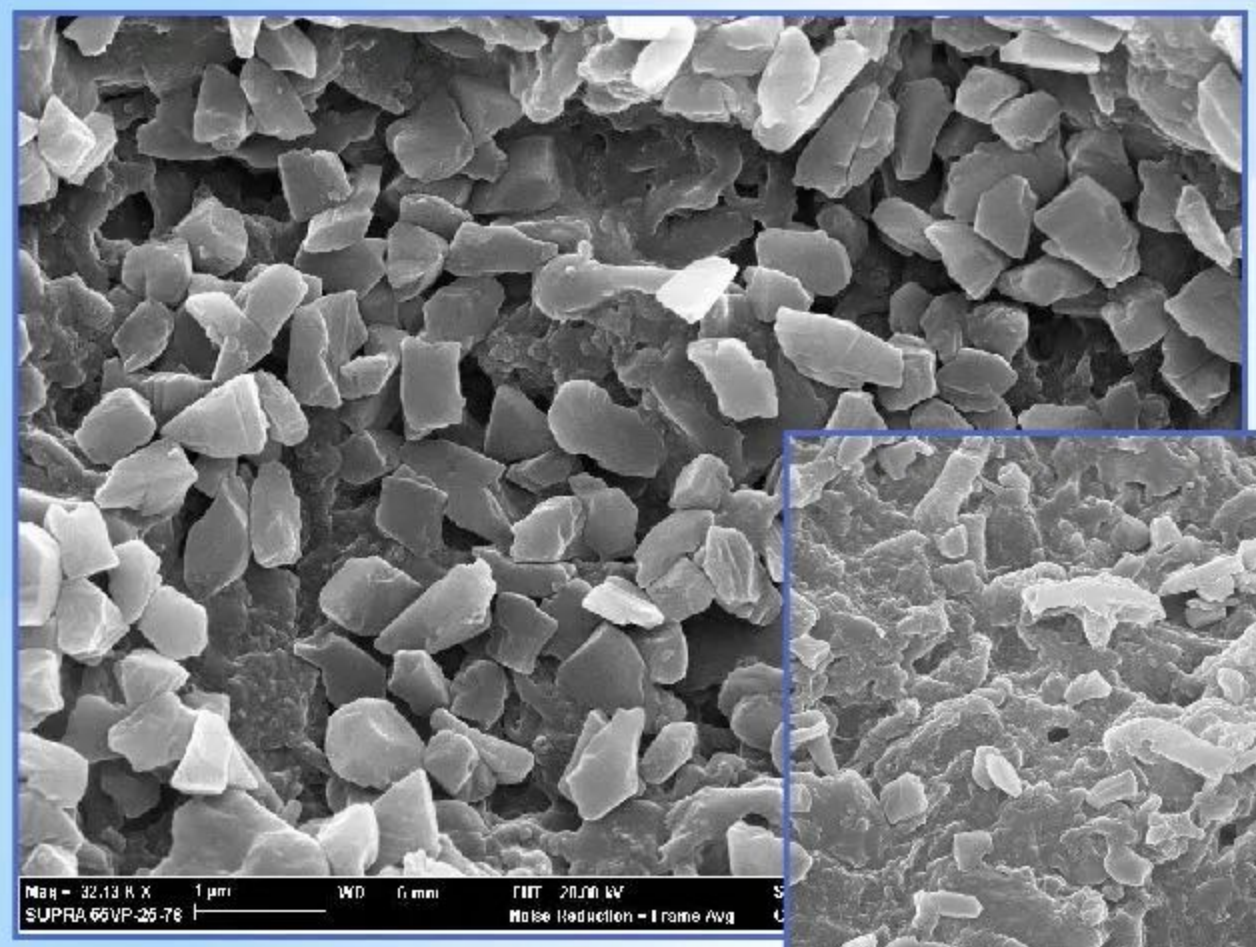
Гранулы не должны быть мелкими, чтобы обеспечить надежный ввод в расплав.

На мелких гранулах много сорбированного кислорода, который образует оксидную пленку на поверхности расплава, блокируя гранулу.

Частицы должны быть в виде лигатуры, например, запакованные в проволоку для трайб-аппарата. Каждая частица должна быть плакирована металлом.

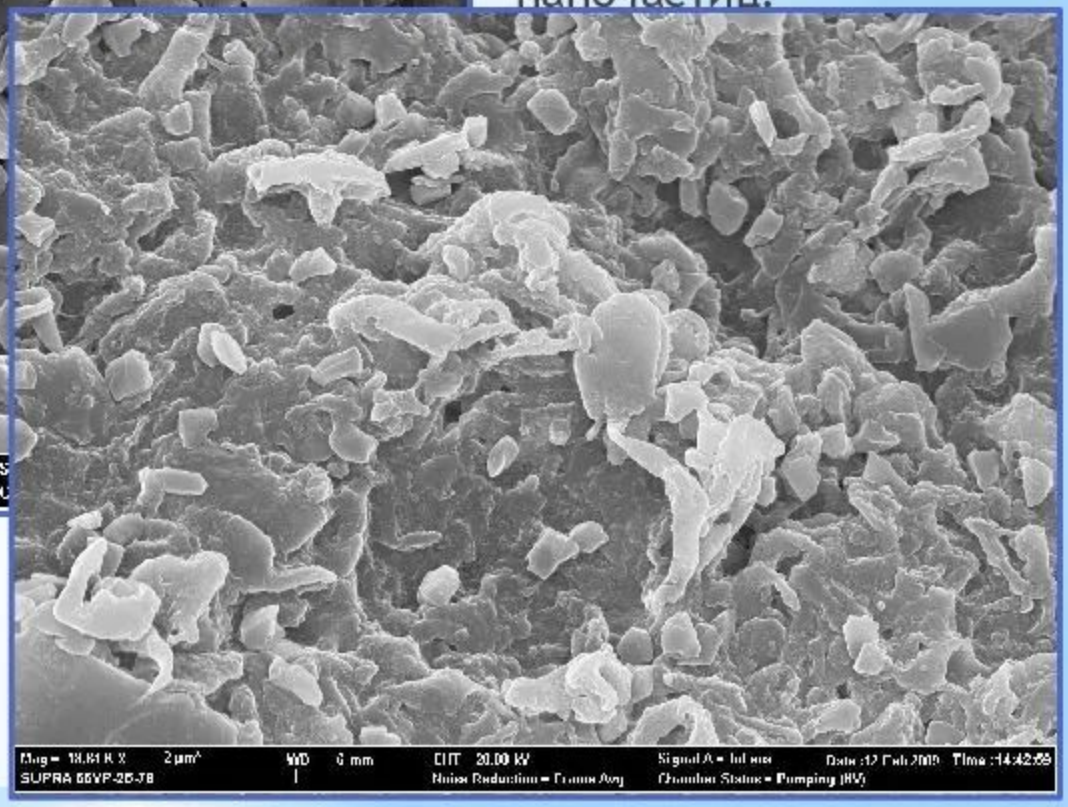
Металла должно быть много, чтобы получить «изюм в булке», а не «селедки в бочке».

Проблемы ввода частиц в расплавы

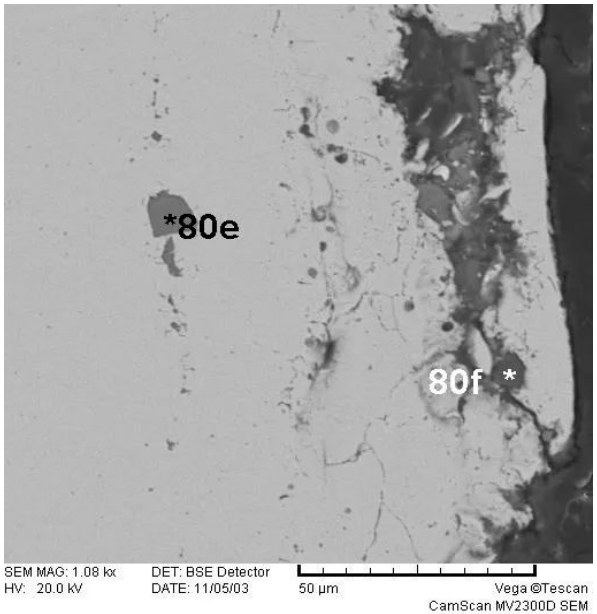


Спекание при нагреве

При 500°С реактивное спекание наночастиц!



Продукты раскисления в дефекте «плена» холоднокатаного листа



ГОСТ 1778-70

Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений

ASTM E1245

Стандарт для определения содержания включений или второй фазы в металле

ASTM E45

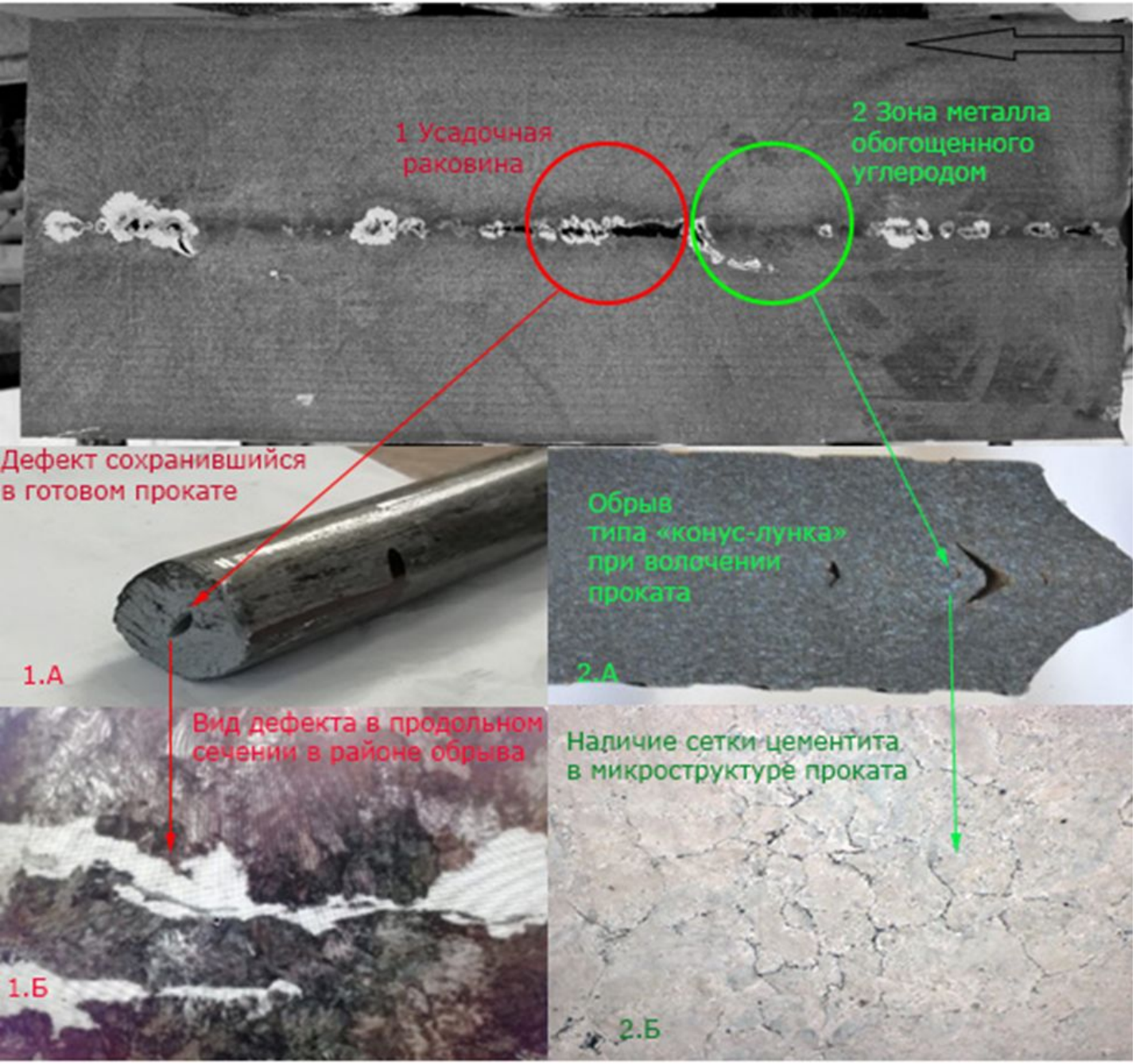
Стандарт для определения содержания неметаллических включений в стали

DIN 50602

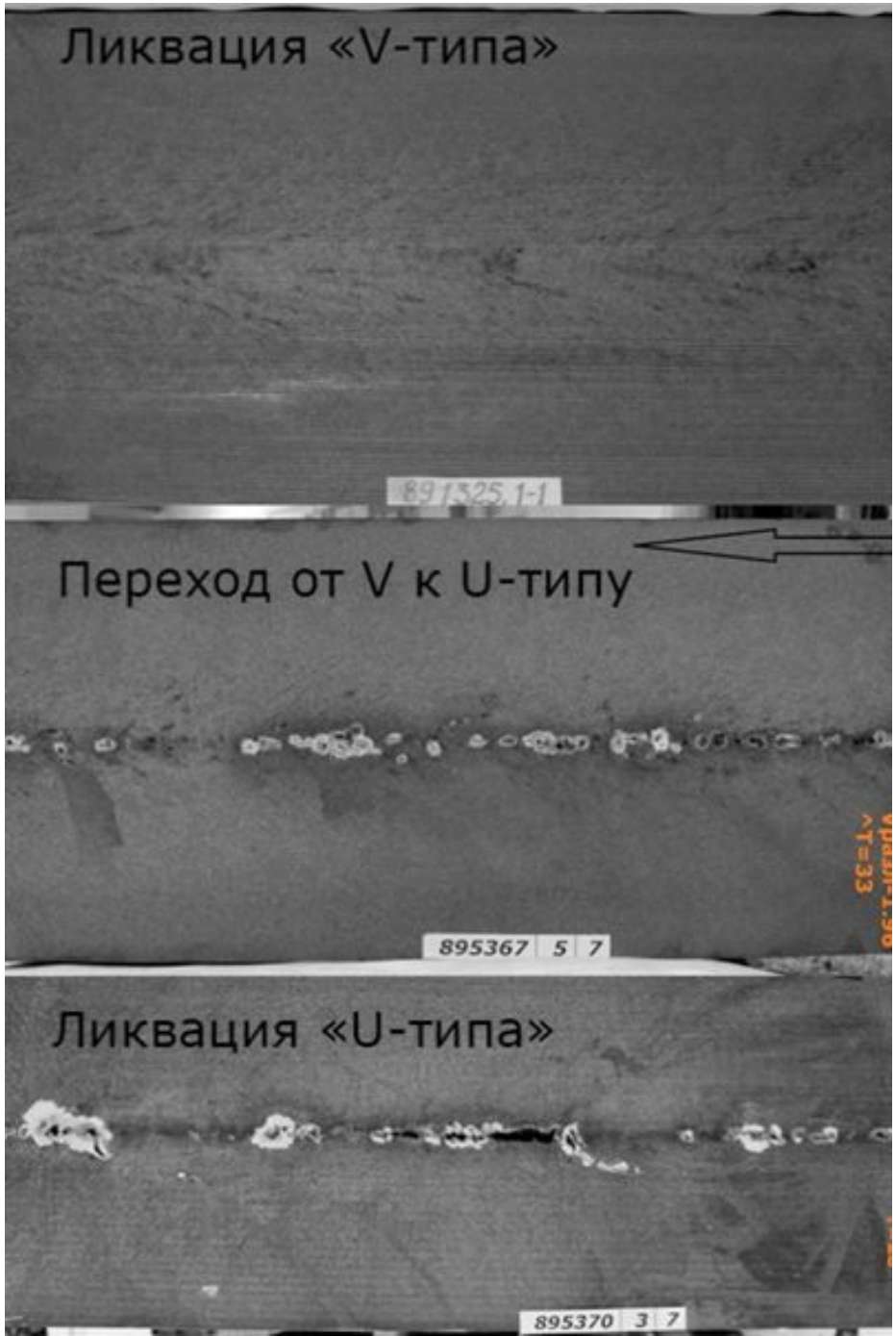
Определение содержания неметаллических включений методом микроскопического анализа с применением стандартных диаграмм

DIN EN 10247-2007

Содержание неметаллических включений сталей. Микрографическое исследование с использованием стандартных рисунков



Эволюция дефектов макроструктуры непрерывно литой заготовки в дефекты готового проката



Характерная макроструктура продольного сечения опытных темплетов

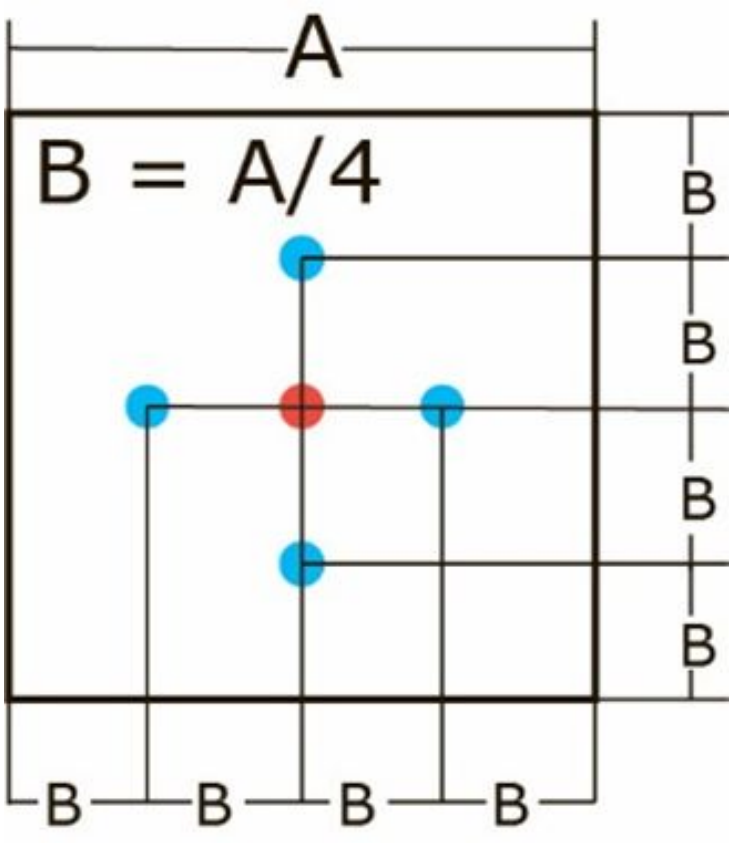


Схема отбора проб для определения коэффициента ликвации

$$S.I. = \frac{\text{содержание( )углерода в центре темплета}}{\text{содержание( )углерода в среднем радиусе темплета}}$$

Результаты переработки кругов из стали с содержанием углерода 0,75 % и более в ОАО «ММК-Метиз»

Период	Переработано, т	Обрывность		Бал цементитной сетки								Возврат	
		шт	%	B		C		D		E		т	%
				т	%	т	%	т	%	т	%		
янв.19	625.8	1	0.16	26.0	4.2	26.0	4.2			444.0	71.0		
фев.19	722.3	27	3.74							459.6	63.6	208	28.8
мар.19	1335.8	25	1.87	197.8	14.8	269.2	20.2	303.4	22.7	425.2	31.8		
апр.19	2179.0	0	0	1284.5	58.9	554.8	25.5	291.5	13.4	48.26	2.2		
май.19	6388.1	15	0.23	1911.9	29.9	694.7	10.9	76.4	1.2	153.4	2.4		
Итого	**11250.9**	**68**	**0.60**										