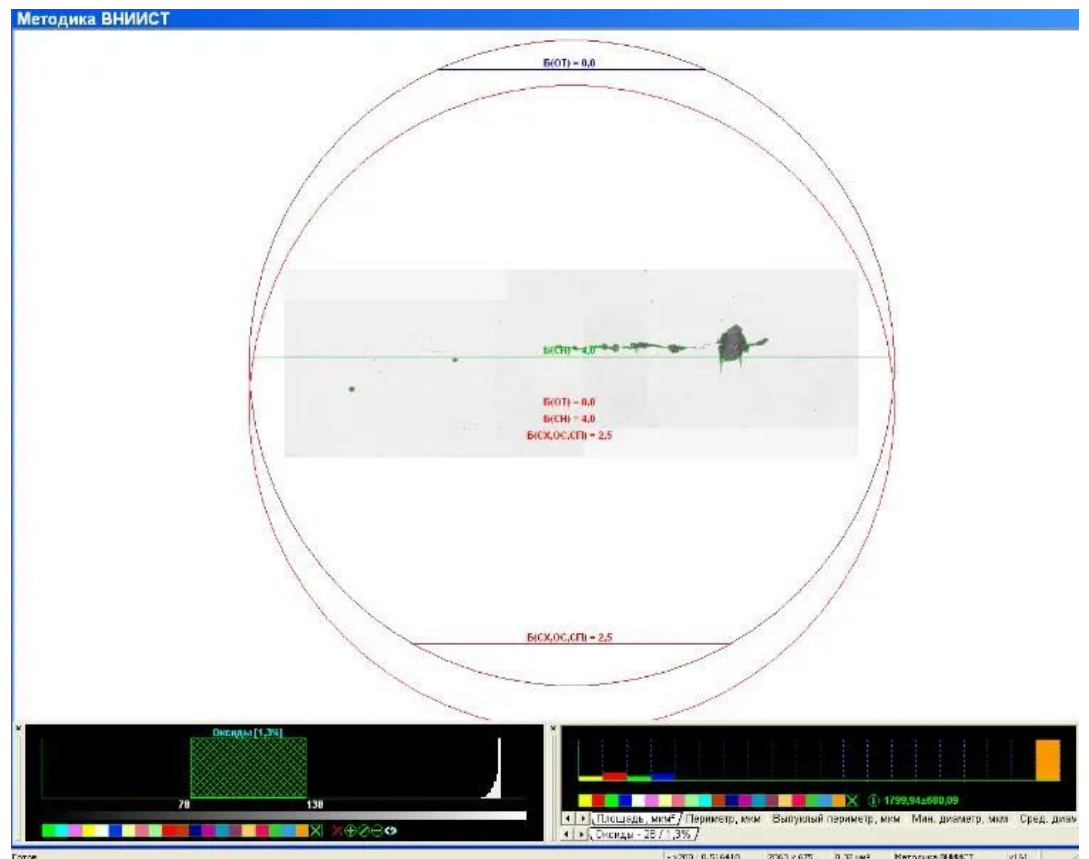


ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ



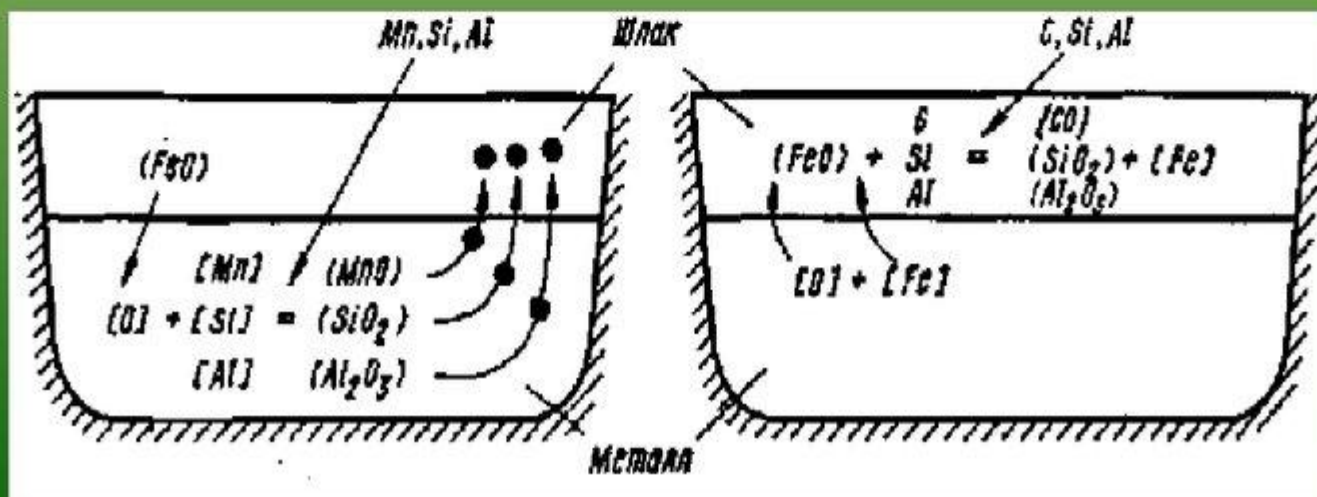
Способы раскисления стали

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

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

Продолжение таблицы 2.1

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

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

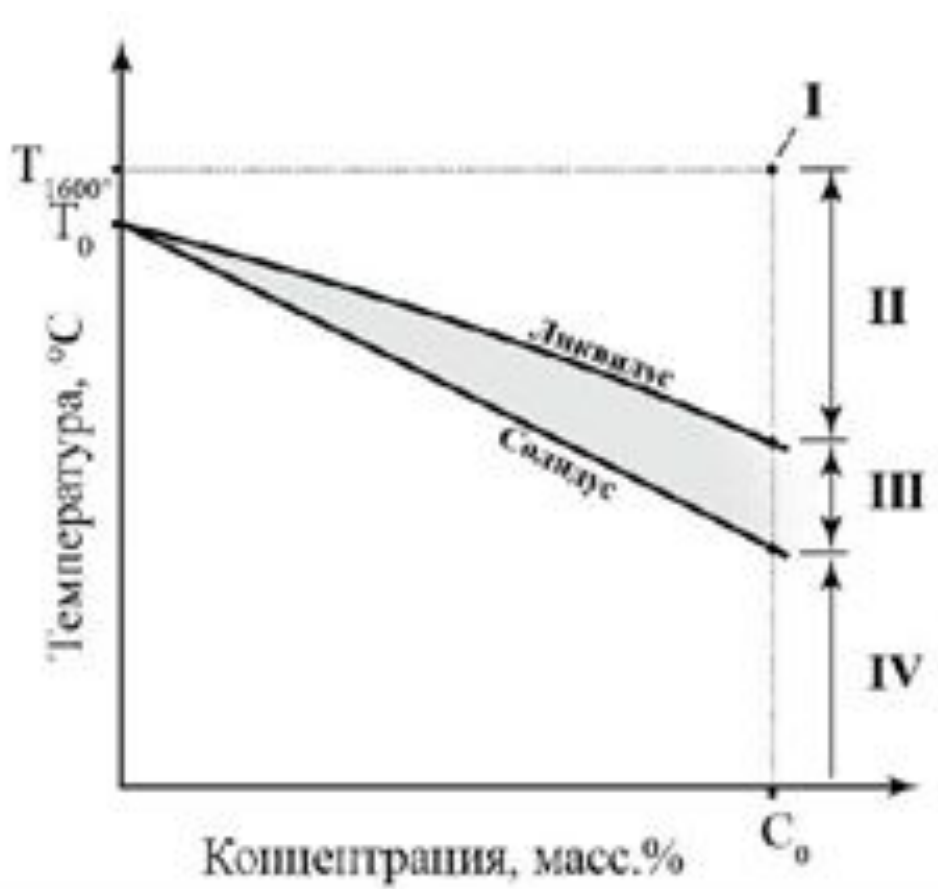
Образование и эволюция НВ

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

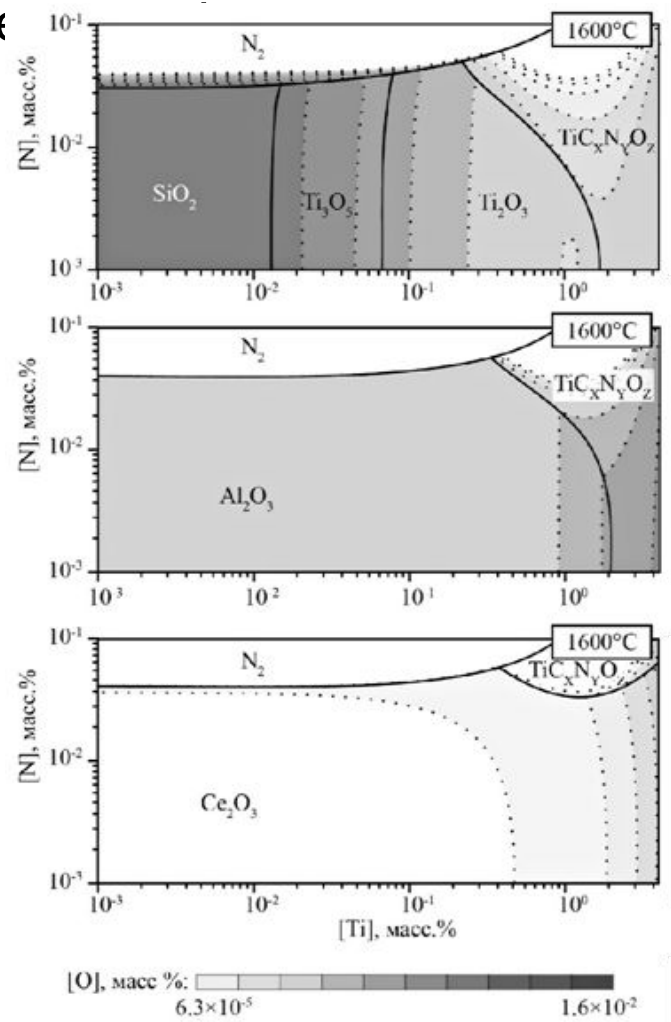
Первичные образуются в изотермических условиях внепечной обработки после присадки элементов-раскислителей, когда их концентрации превышают равновесные значения.

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

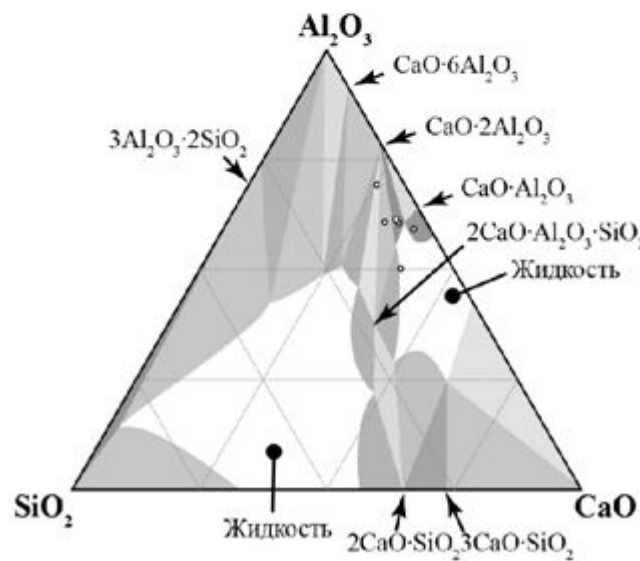
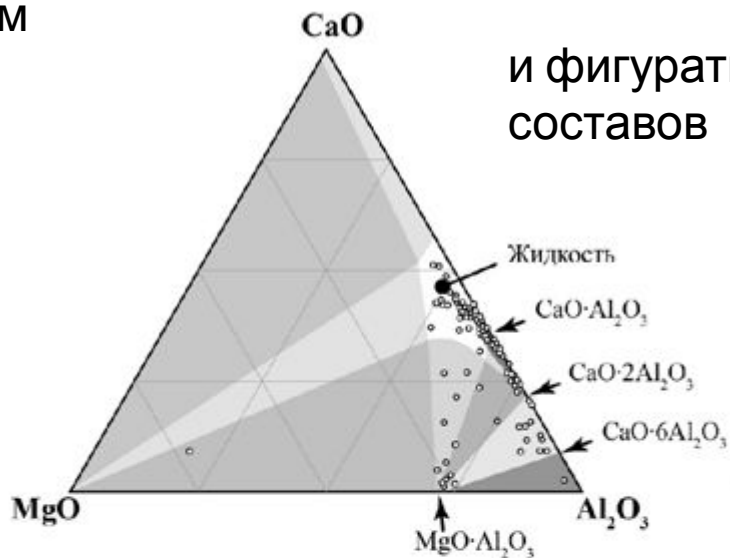
известных закономерностях.



Расчет диаграмм состояния многокомпонентных многофазных систем

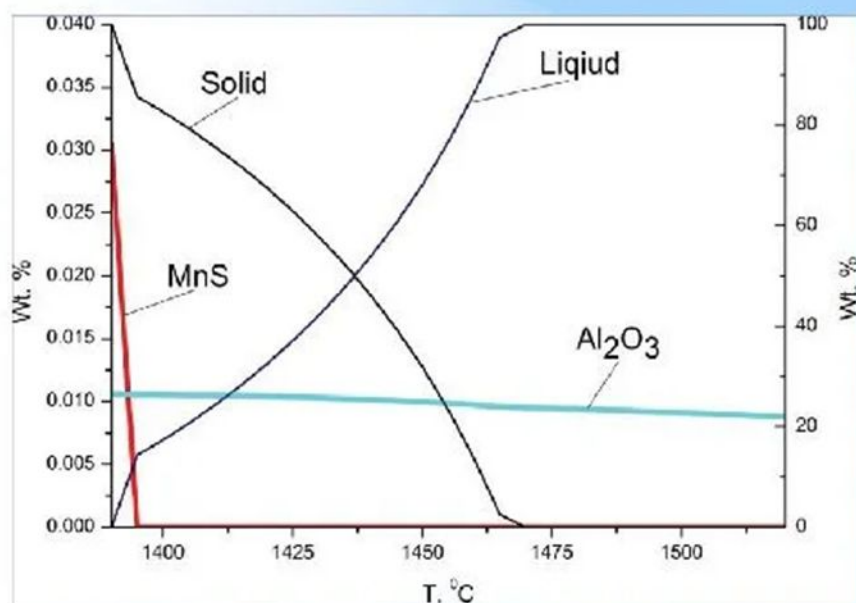
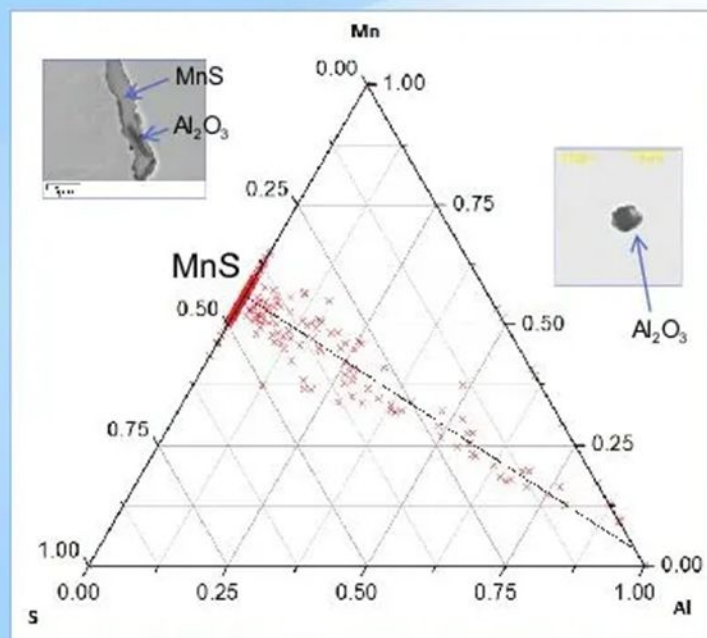
Фазовые диаграммы оксидных систем

и фигуративные точки составов

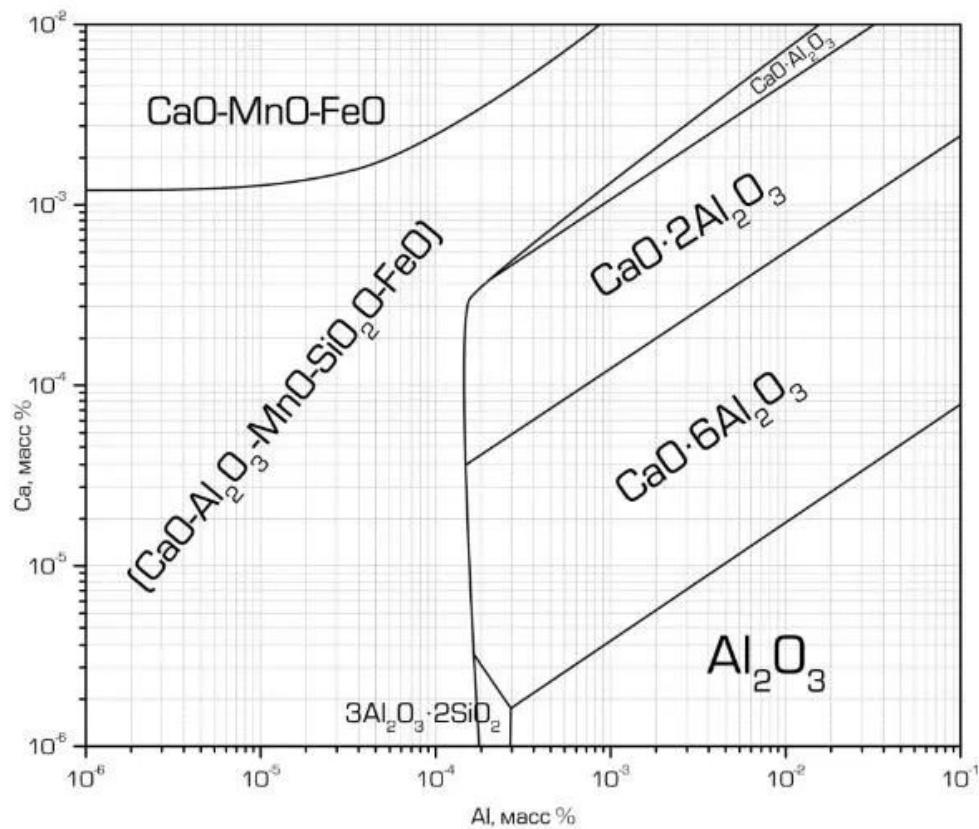


Примеры использования автоматического анализа частиц

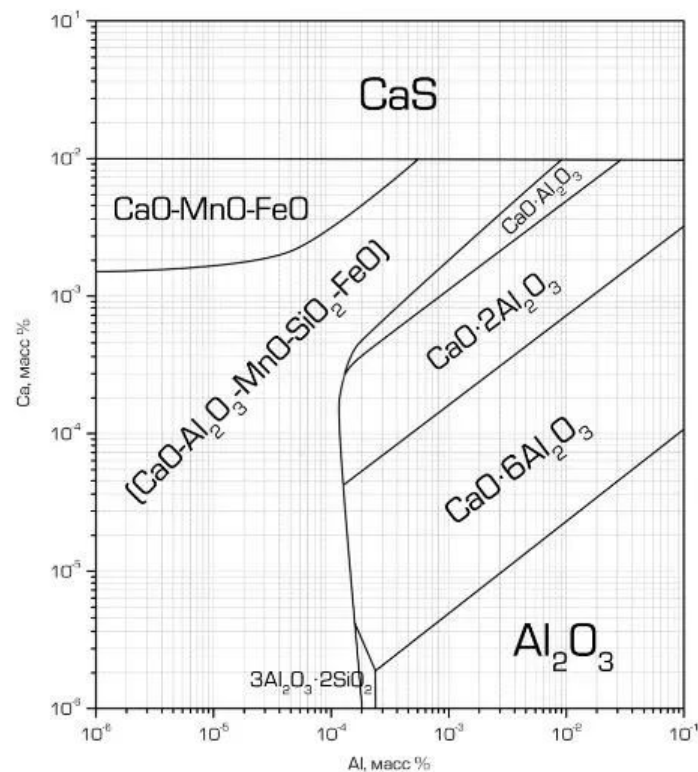
ОКСИДЫ И СУЛЬФИДЫ В РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ



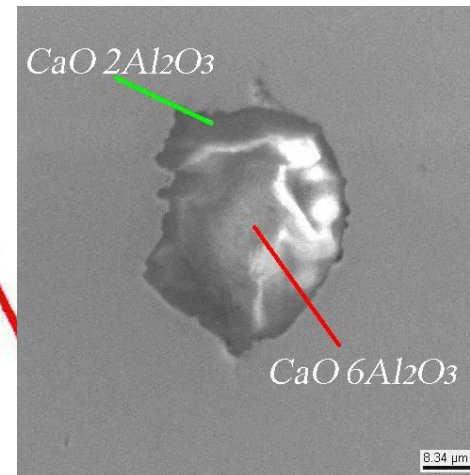
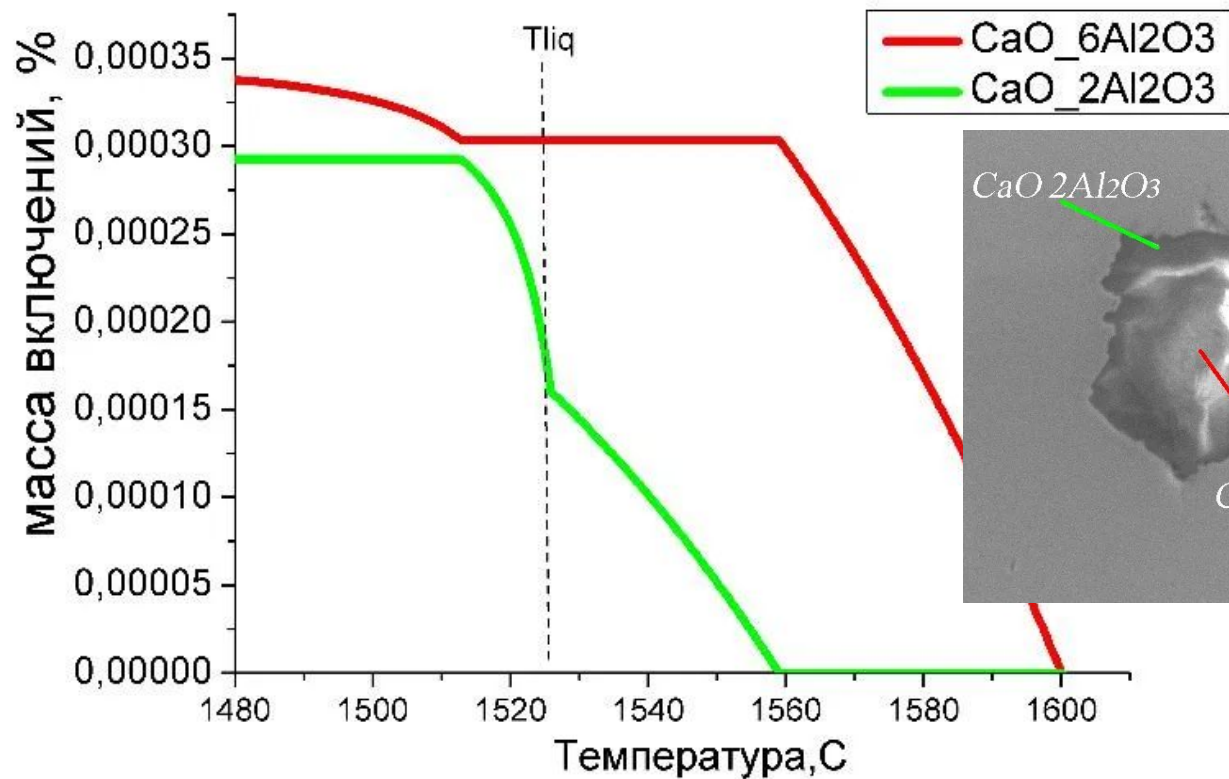
Оценка остаточных концентраций реагентов в стали, при которых образуется НВ найденного состава



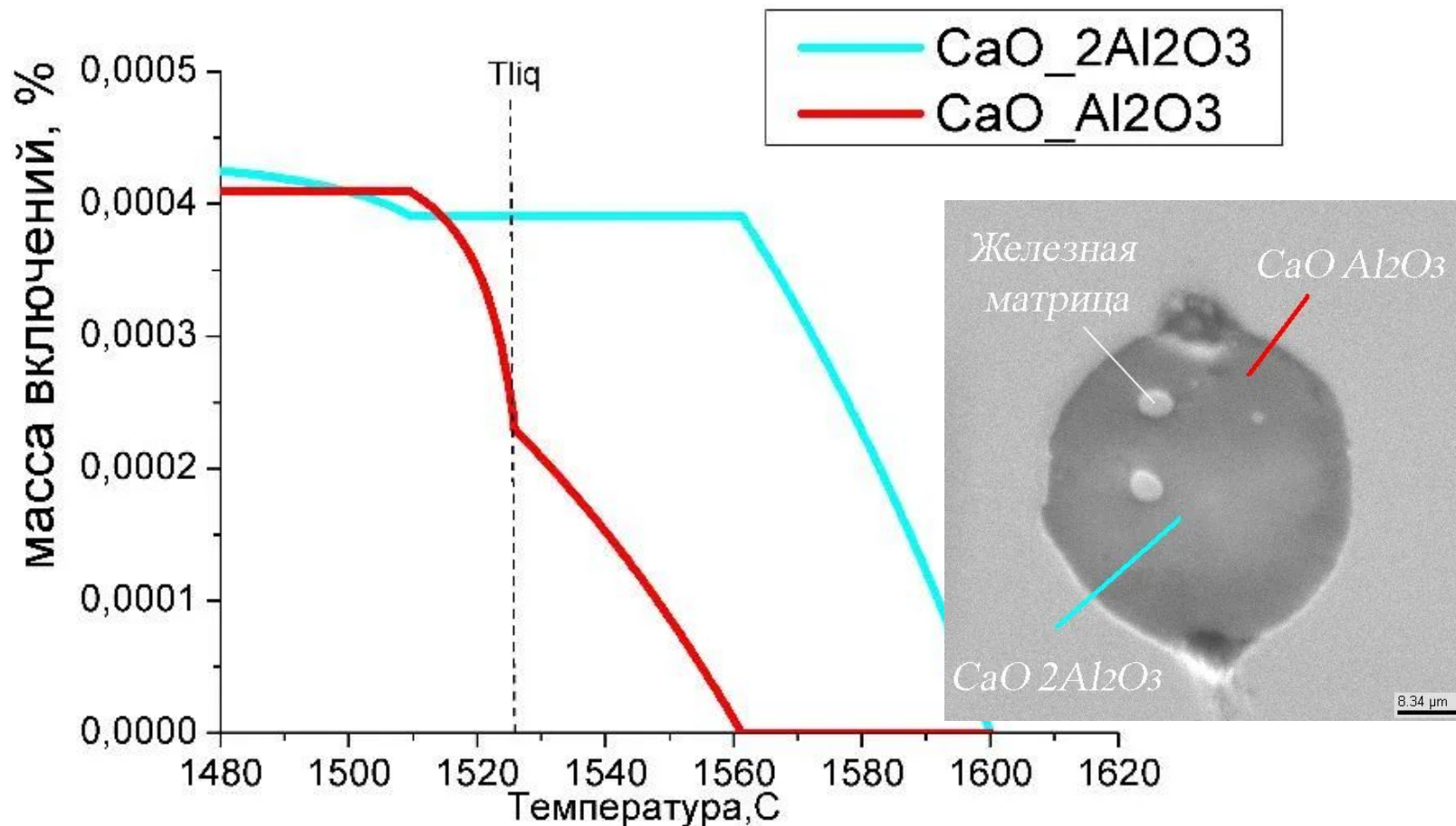
Fe, 0.07% C, 0.25% Si, 1.3% Mn, Ca, Al, O при 1500°C



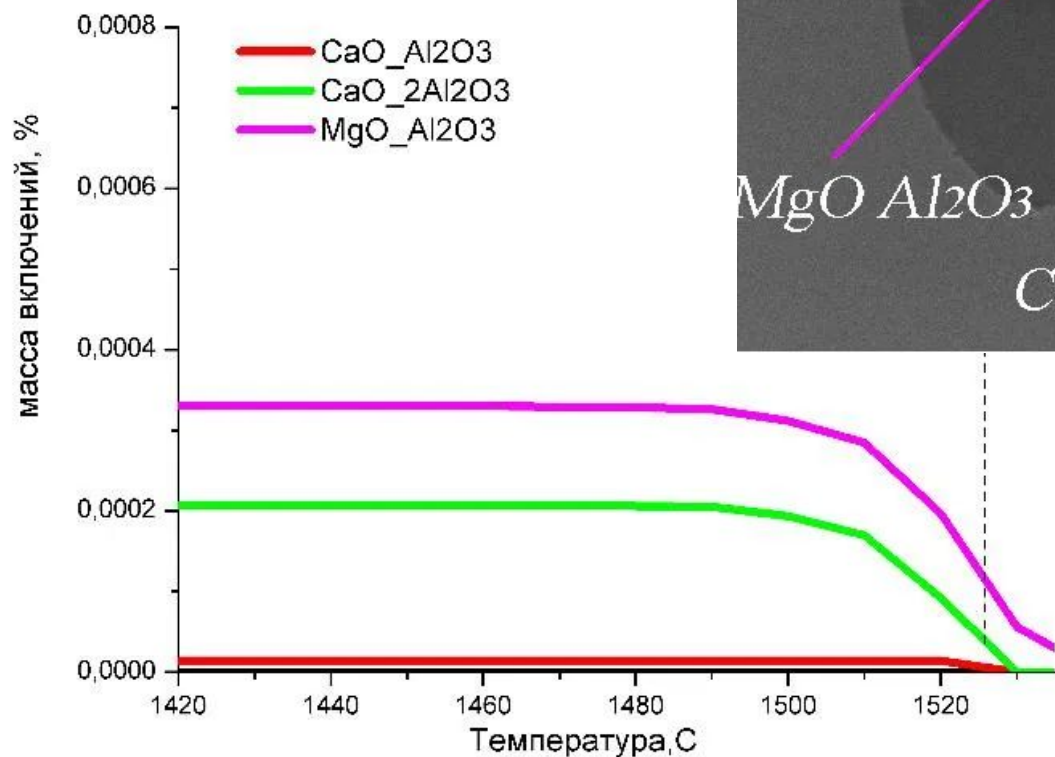
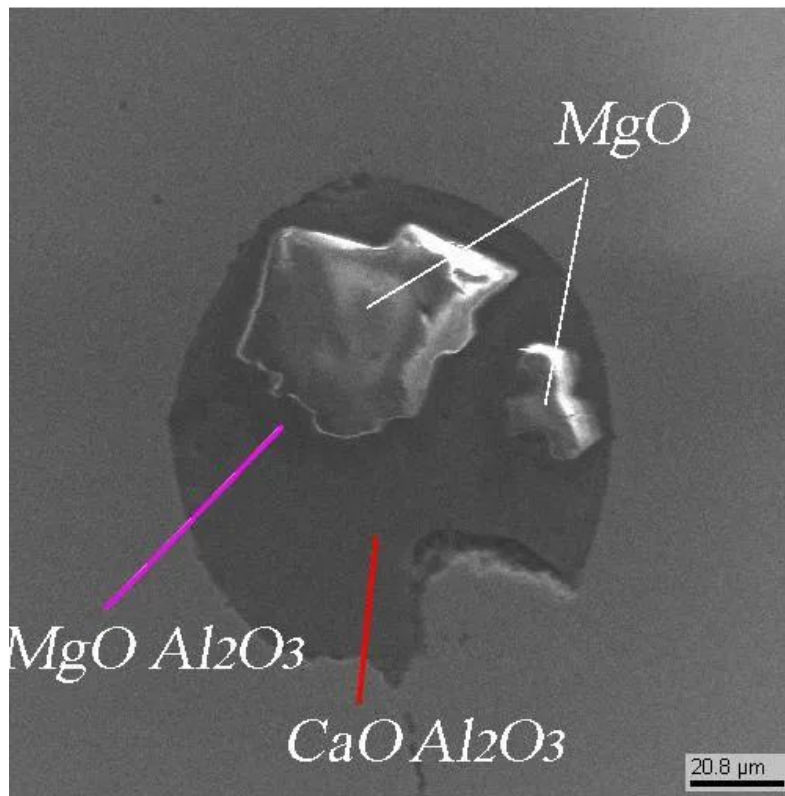
Fe, 0.07% C, 0.25% Si, 1.3% Mn, 0.01% S, Ca, Al, O при 1500°C



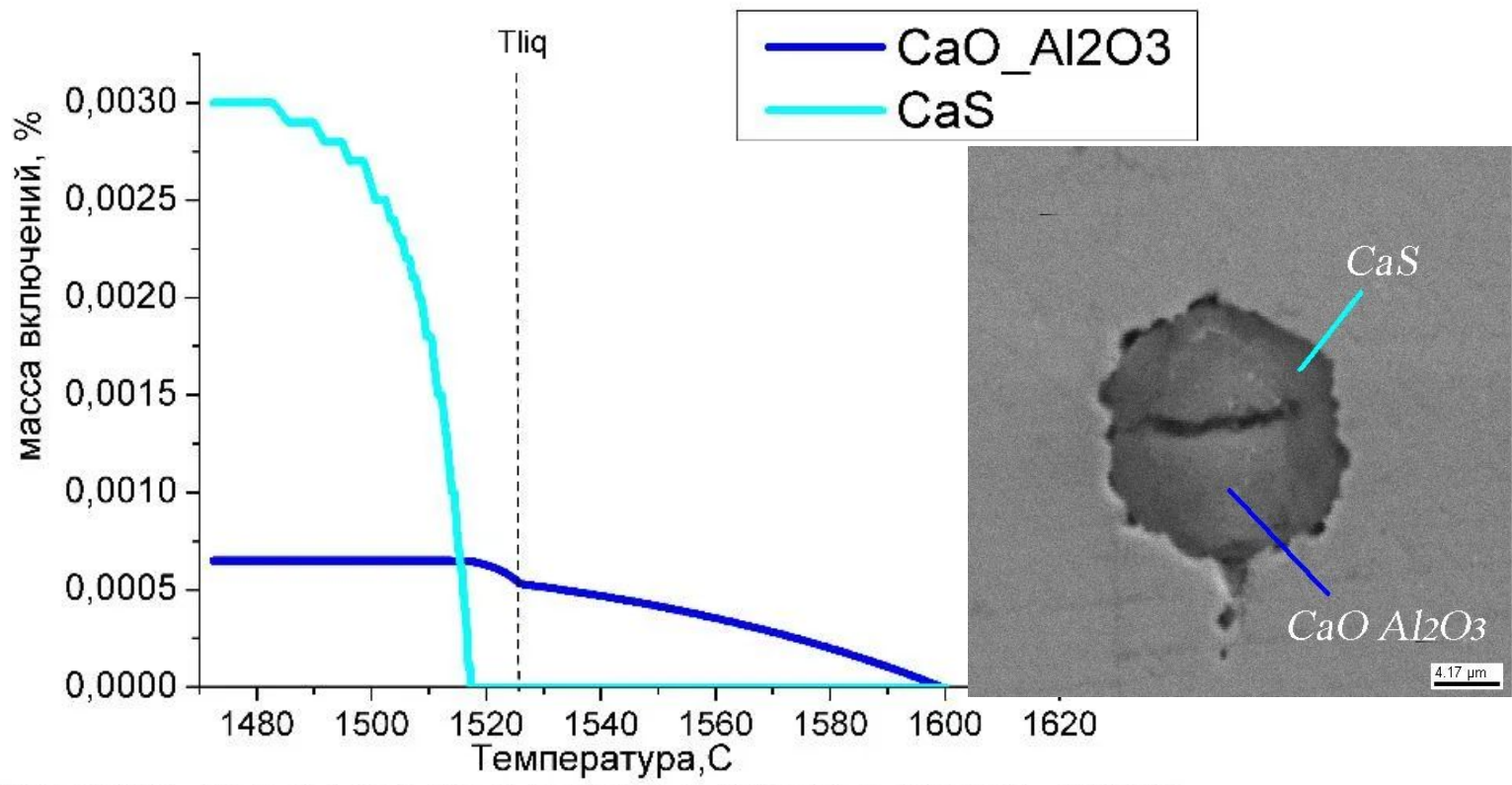
[Al]=0.03%; [Ca]=0.002%; [C]=0.07%; [Si]=0.25%; [Mn]=1.3%; [S]=0.005%;



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

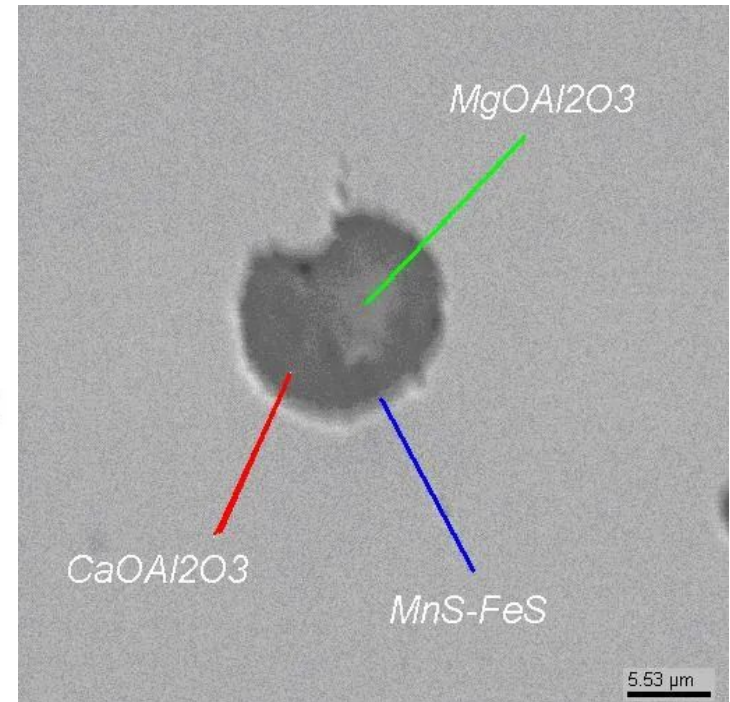
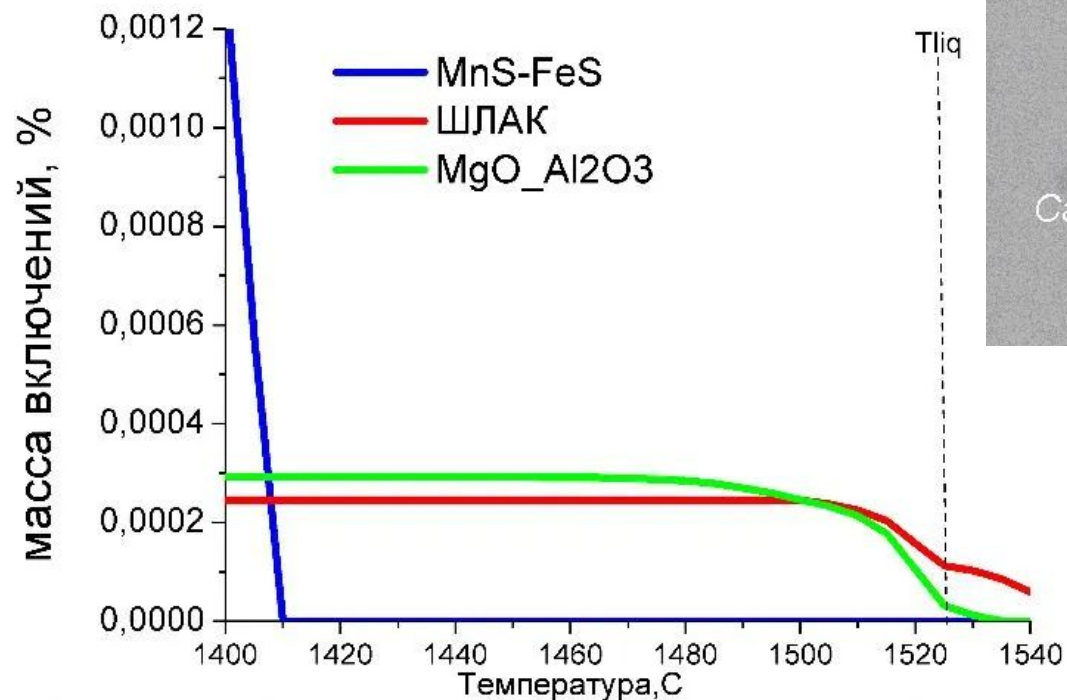


[Mn]=1.3% [C]=0.09% [S]=0.001% [Ca]=0.001% [Al]=0.02% [O]=0.002% [Mg]=0.00015%



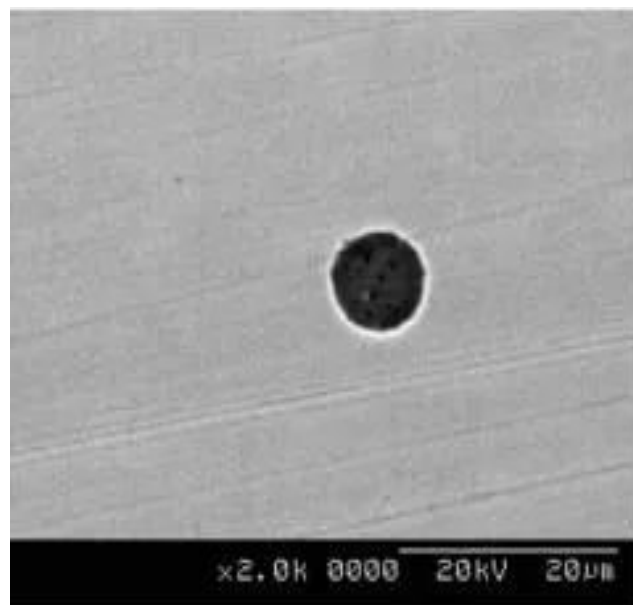
[Al]=0.02%; [Ca]=0.012%; [C]=0.07%; [Si]=0.25%; [Mn]=1.3%; [S]=0.005%;

Раскрытие термовременной природы неметаллических включений

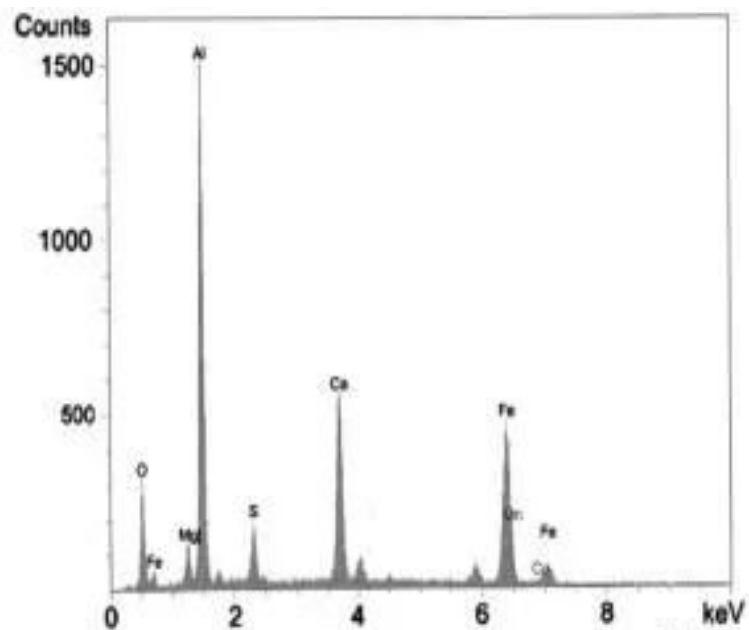


$\ln]=1.7\%[\text{C}]=0.09\%[\text{S}]=0.003\%[\text{Ca}]=0.0005\%[\text{Al}]=0.04\%[\text{O}]=0.001\%[\text{Mg}]=0.0001\%$

Рентгеновские спектры неметаллических включений в стали

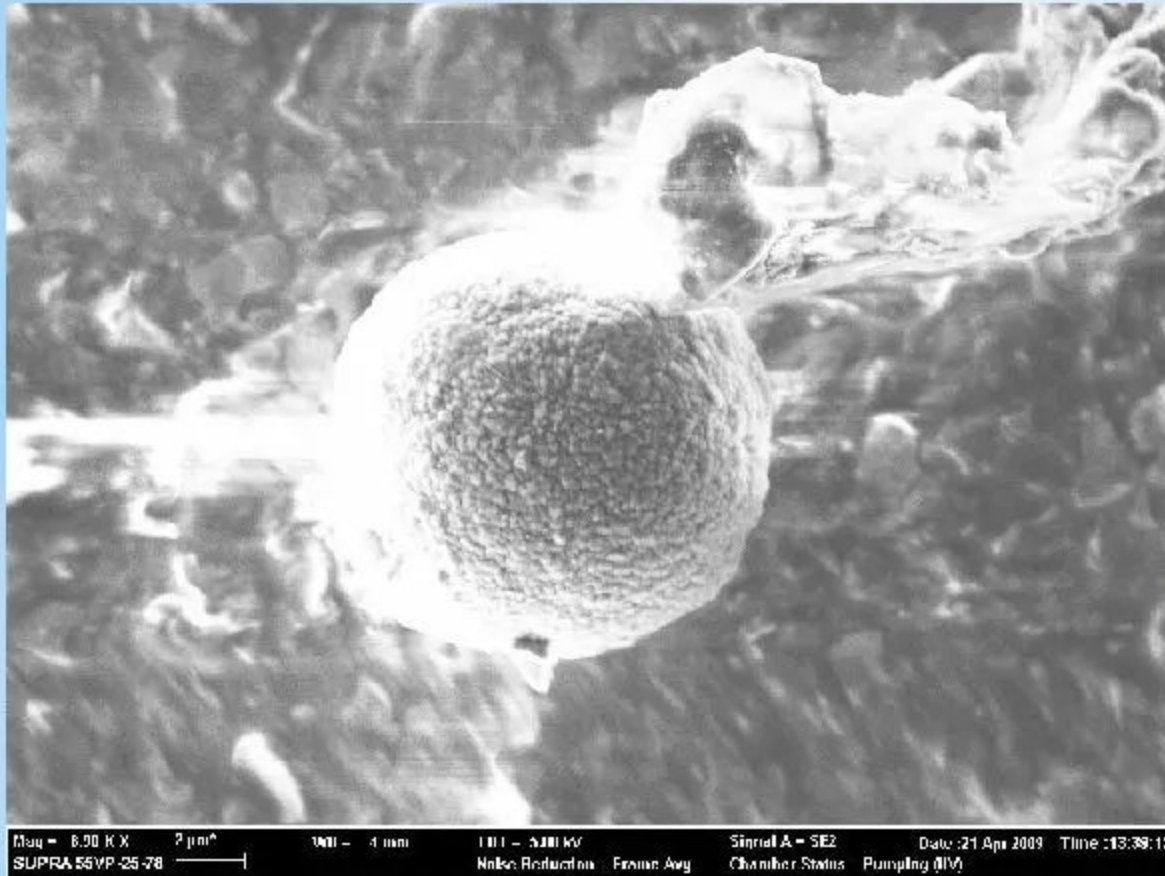


(a)



(b)

Проблемы ввода частиц в расплавы



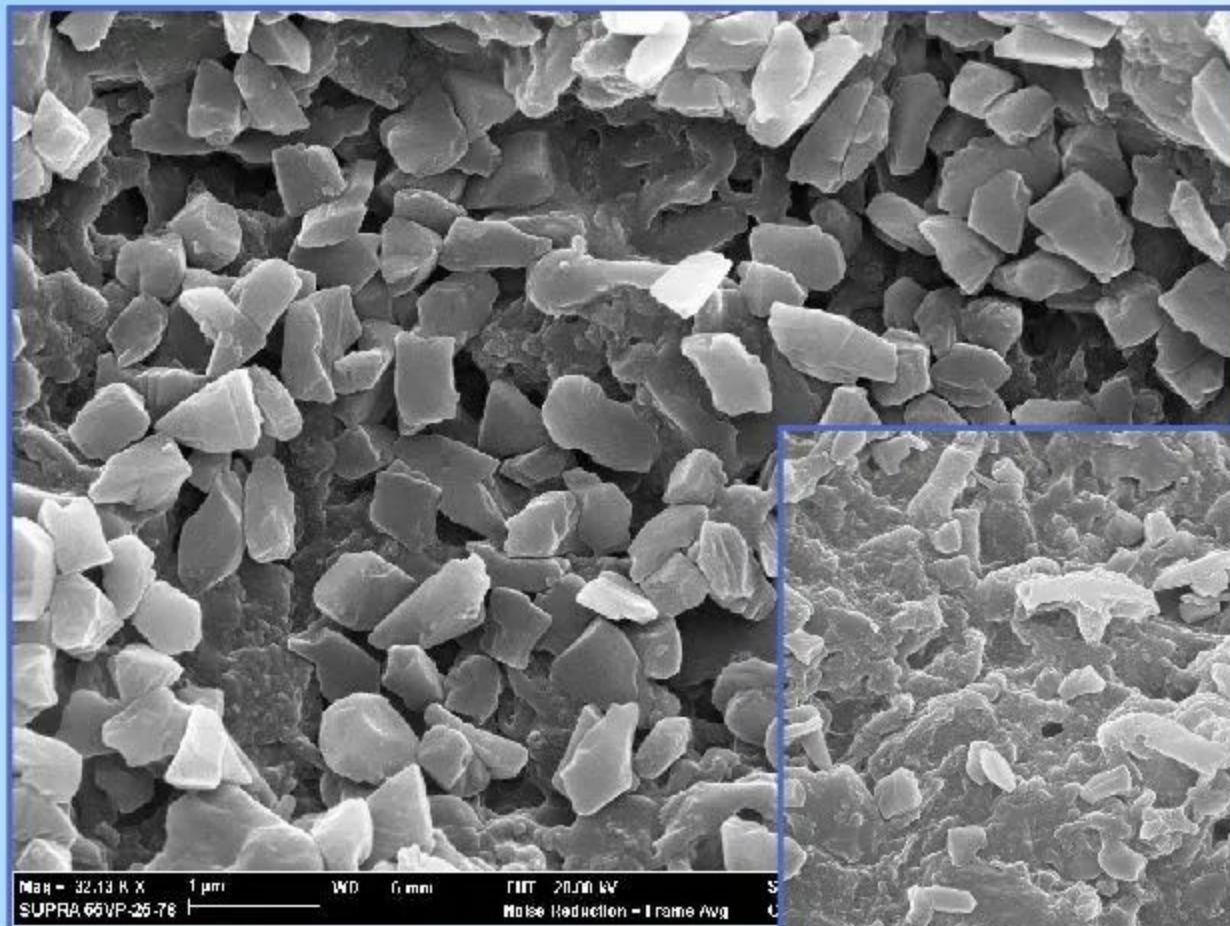
Гранулы не должны быть мелкими, чтобы обеспечить надежный ввод в расплав.

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.

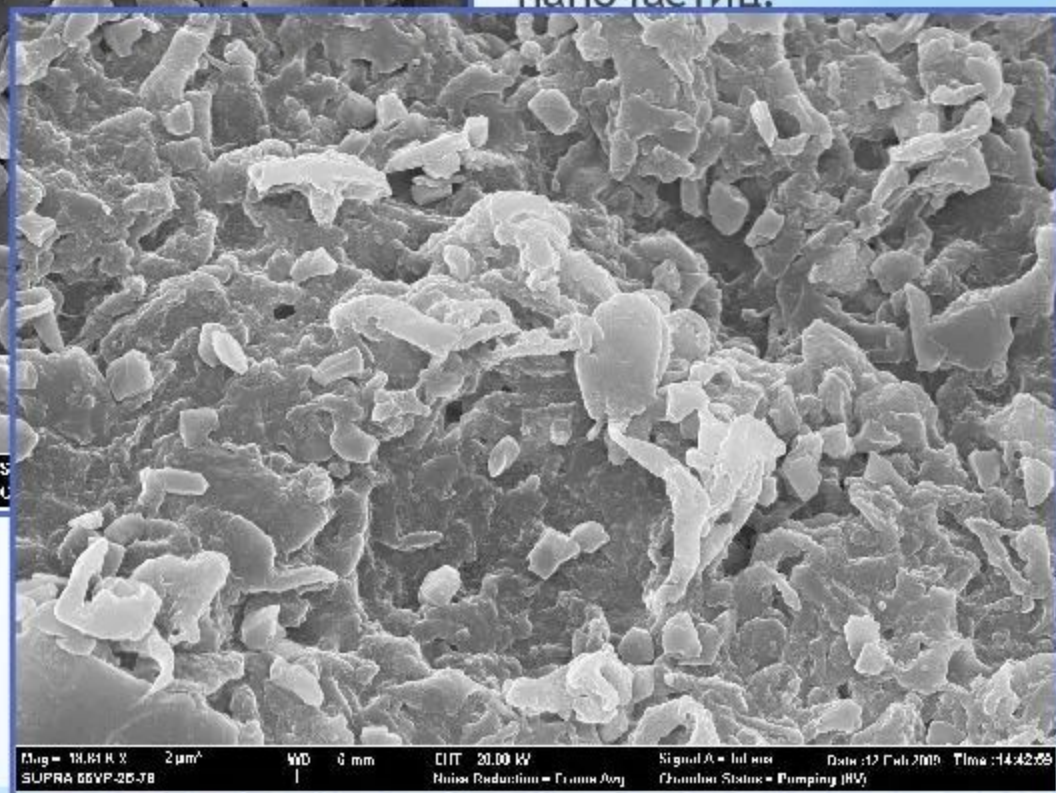
Металла должно быть много, чтобы получить «изюм в булке», а не «селедки в бочке».

Проблемы ввода частиц в расплавы

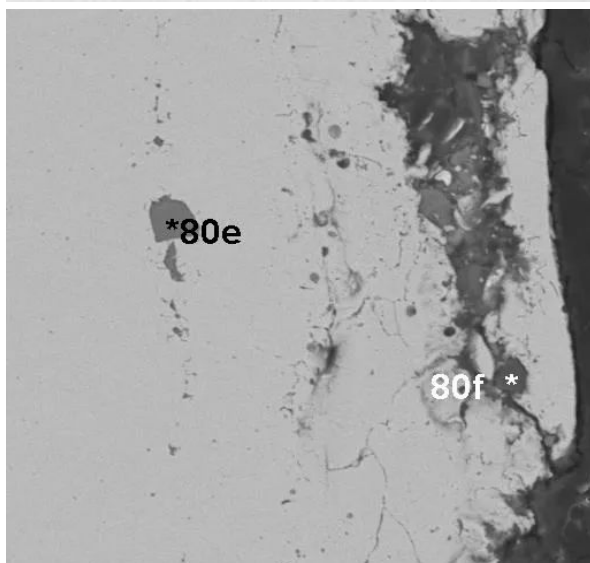


Спекание при
нагреве

При 500°C
реактивное спекание
наночастиц!



Продукты раскисления в дефекте «пленка» холоднокатаного листа



SEM MAG: 1.08 kx
HV: 20.0 kV

DET: BSE Detector
DATE: 11/05/03

50 µm

Vega ©Tescan
CarnScan MV2300D SEM

ГОСТ 1778-70

Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений

ASTM E1245

Стандарт для определения содержания включений или второй фазы в металле

ASTM E45

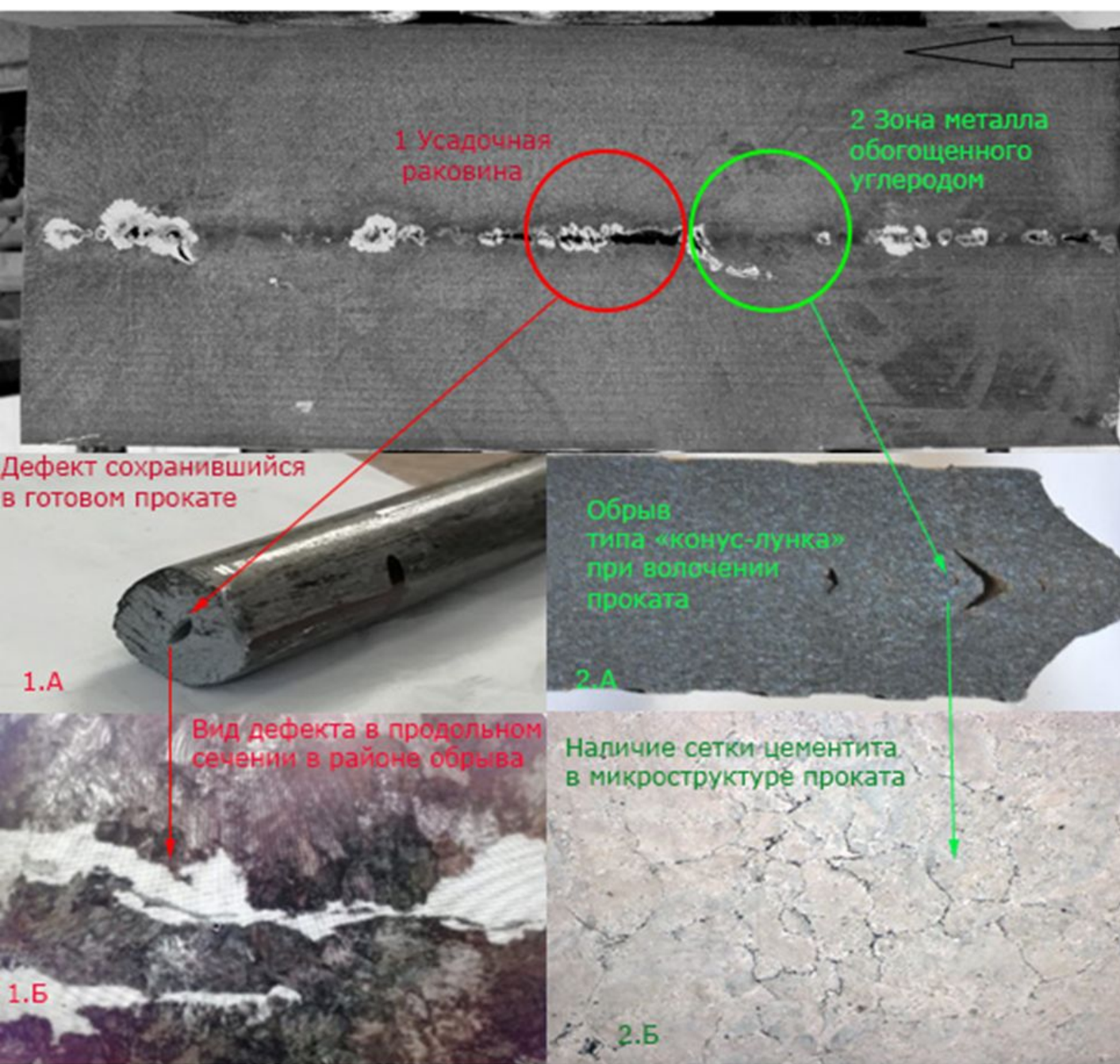
Стандарт для определения содержания неметаллических включений в стали

DIN 50602

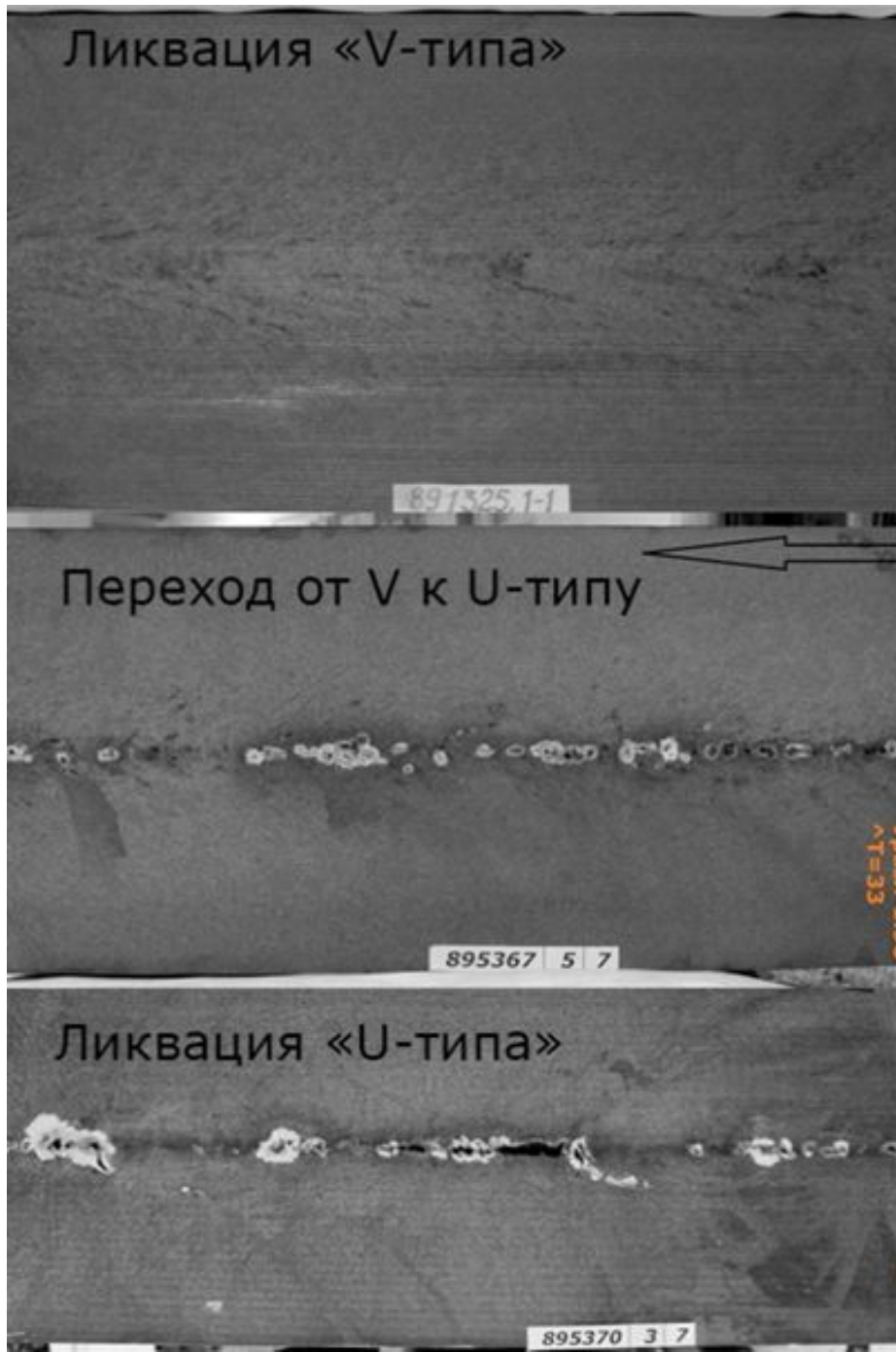
Определение содержания неметаллических включений методом микроскопического анализа с применением стандартных диаграмм

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

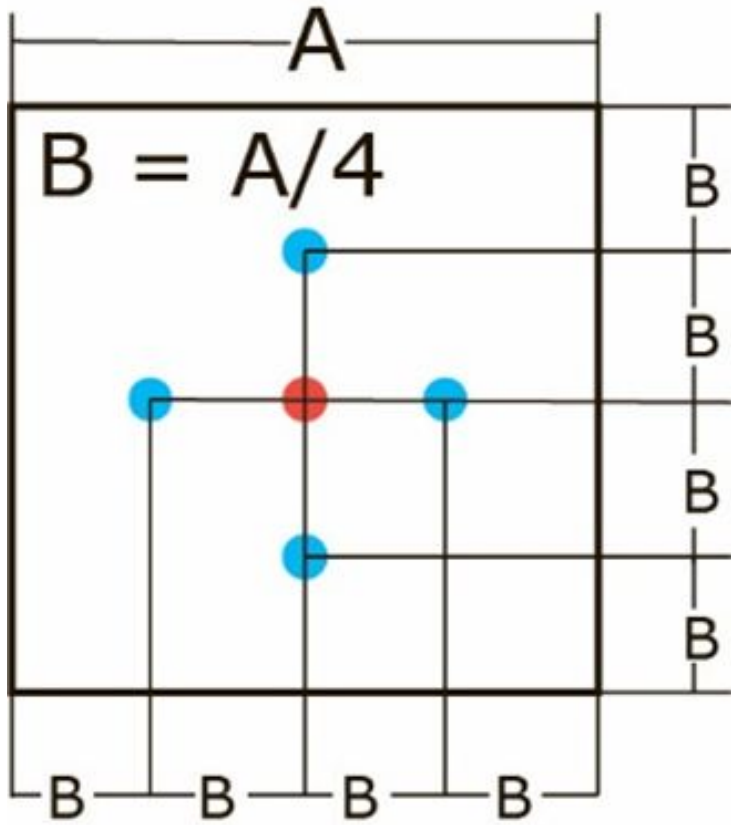


Схема отбора проб для определения коэффициента ликвации

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

