



*ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»*

**Комплексные неметаллические  
включения в современных  
металлургических технологиях,  
свойства и надежность сталей**

**А.И. Зайцев**



# Динамика роста требований к коррозионной стойкости, механическим и другим служебным свойствам трубных сталей ответственного нефтепромыслового назначения

Наименование показателя	Единицы измерения	Уровень 2010-2015 г.	Требования 2016 г.
Скорость локальной коррозии в водных хлорсодержащих средах	мм/год	0,8-1,5	0,1
Класс стойкости к локальной коррозии		2 (удовлетворительно стойкая), 3 (нестойкая)	1 (стойкая)
Ударная вязкость, определяемая на образцах с острым надрезом KCV <sub>-20</sub>	Дж/см <sup>2</sup>	39	≥220
Ударная вязкость, определяемая на образцах с круглым надрезом KCU <sub>-60</sub>	Дж/см <sup>2</sup>	39	≥300
Относительное удлинение	%	20-22	26
Предел прочности	Н/мм <sup>2</sup>	480-520	700-750



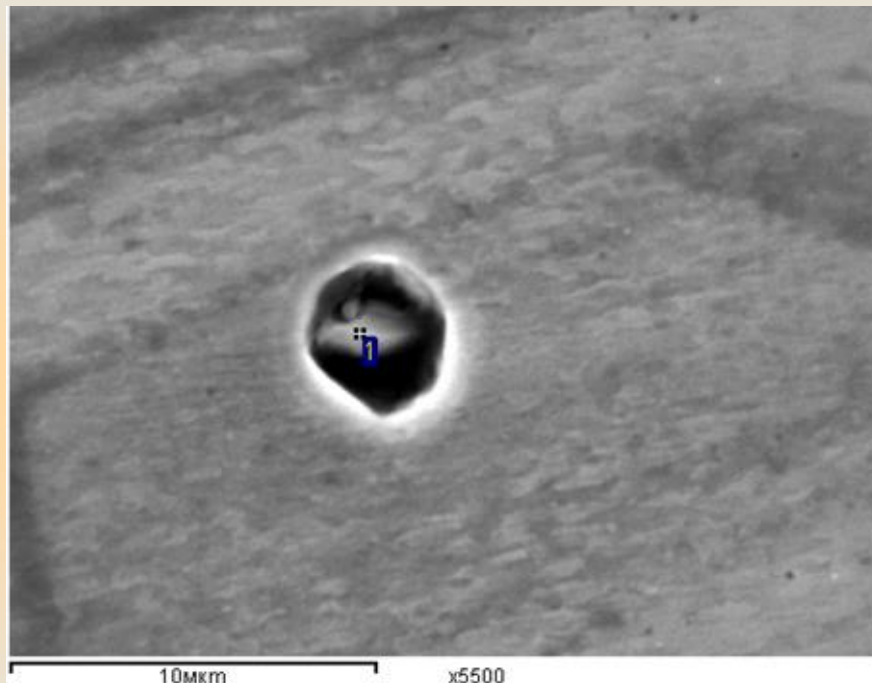
# **Основные особенности современного состояния металлургической технологии массовых высококачественных сталей**

- **использование все более интенсивных методов воздействия при обработке жидкого и твердого металла, новых процессов, материалов;**
- **взаимосвязанность происходящих процессов;**
- **изменение типа, НВ, содержания и форм присутствия примесей;**
- **уменьшение размера неметаллических включений (выделений);**
- **усложнение состава и путей эволюции неметаллических включений (выделений), фазового состава.**

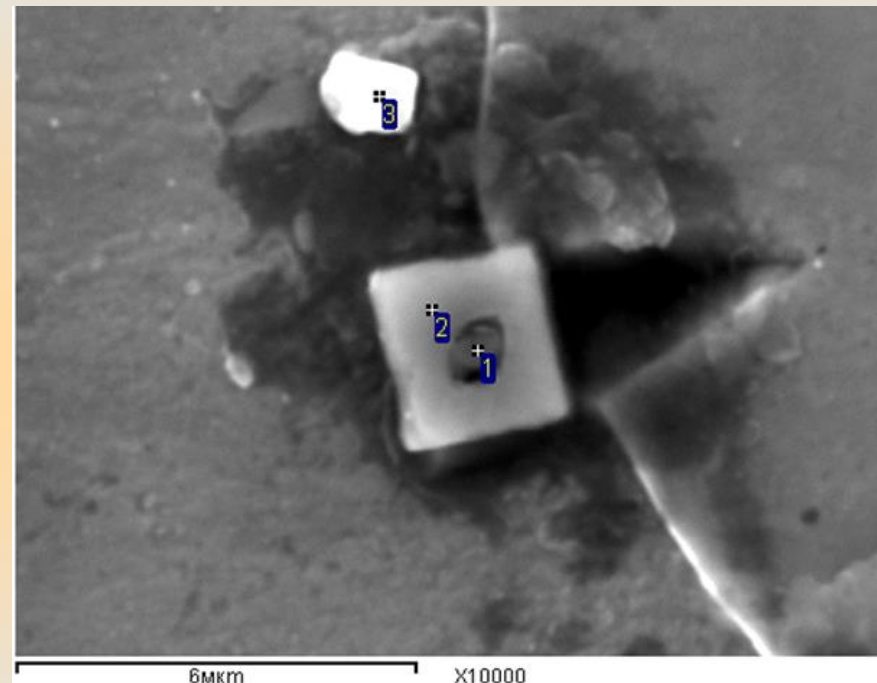
**Созданы условия для необходимости учета и возможности использования принципиально новых механизмов, фазовых и структурных составляющих для достижения высокого комплекса свойств, эксплуатационной надежности сталей.**



## Новые типы неметаллических включений в сталях



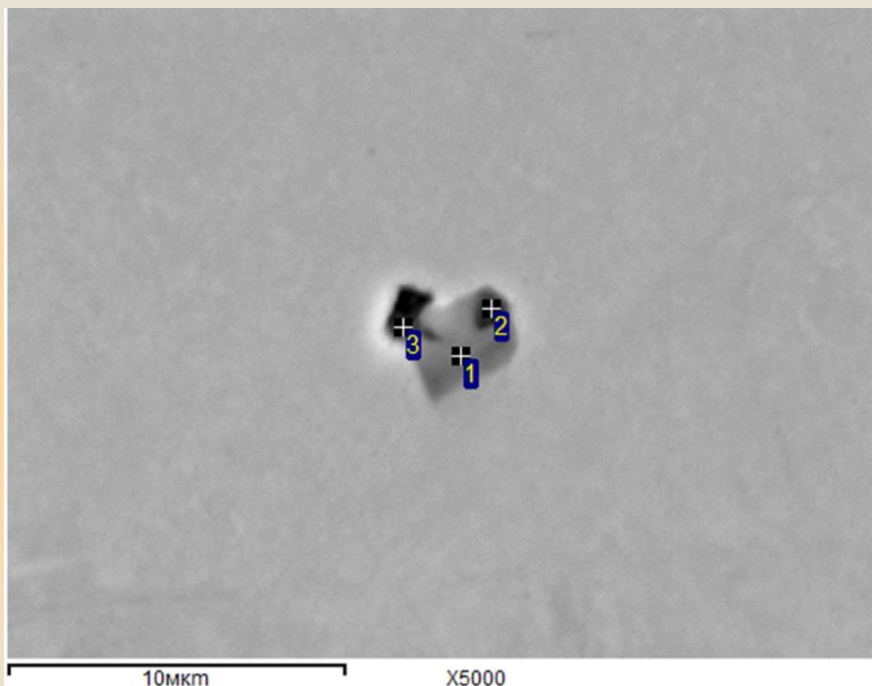
**Алюмомагниева шпинель**



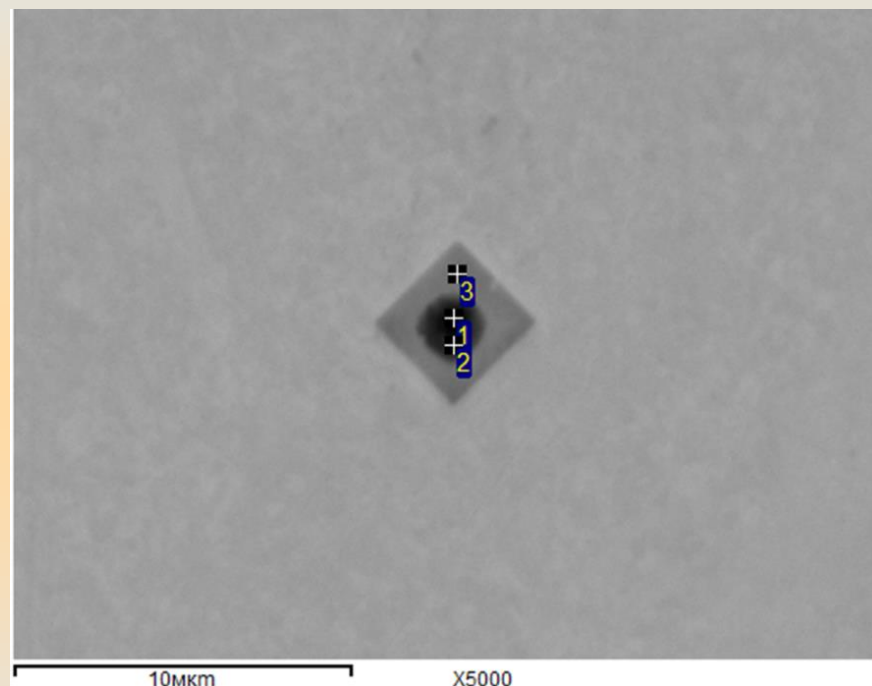
**Выделения нитридов титана  
на поверхности корундового  
включения**



# Эволюция неметаллических включений по ходу обработки стали. Нагрев заготовки



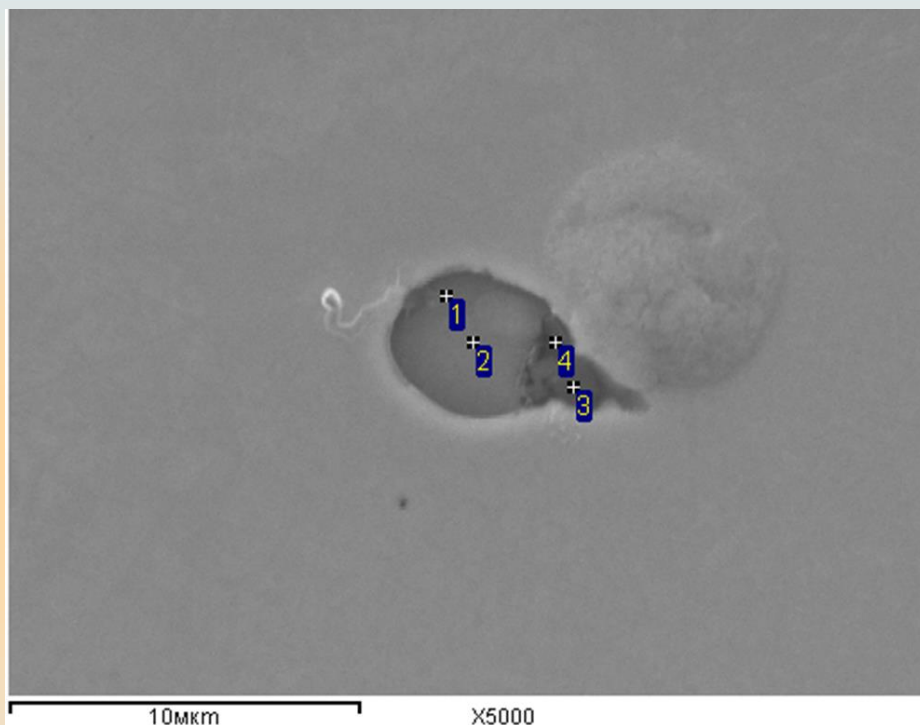
**Комплексное выделение  
нитридов титана и сульфидов  
кальция, марганца**



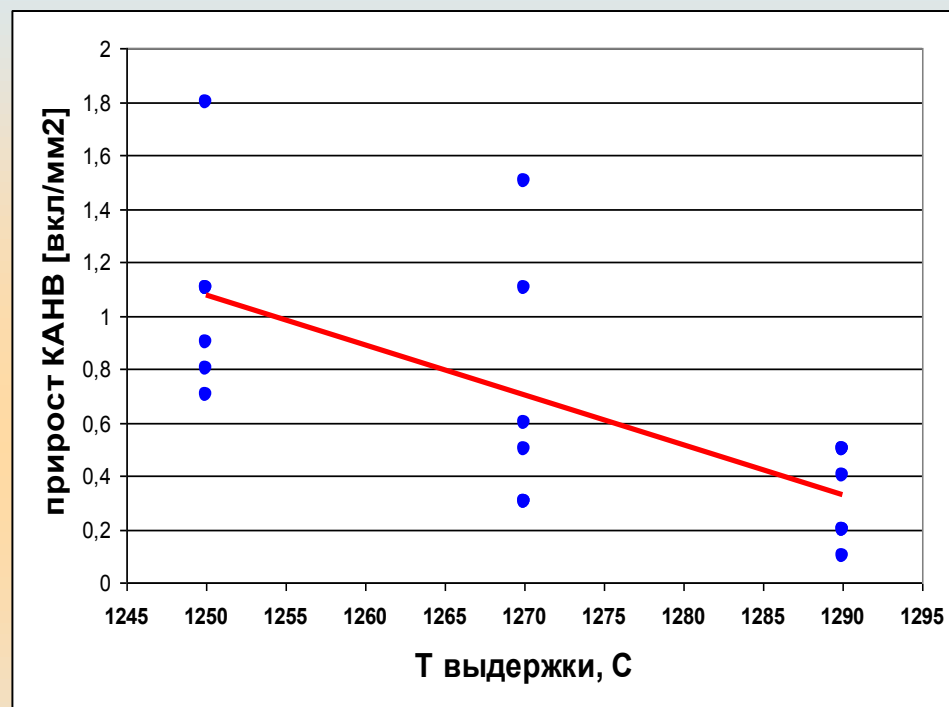
**Комплексное выделение  
нитридов титана и  
алюмомагниево-шпинели**



# Эволюция состава, размера и морфологии оксидно-сульфидных включений при нагреве НЛЗ



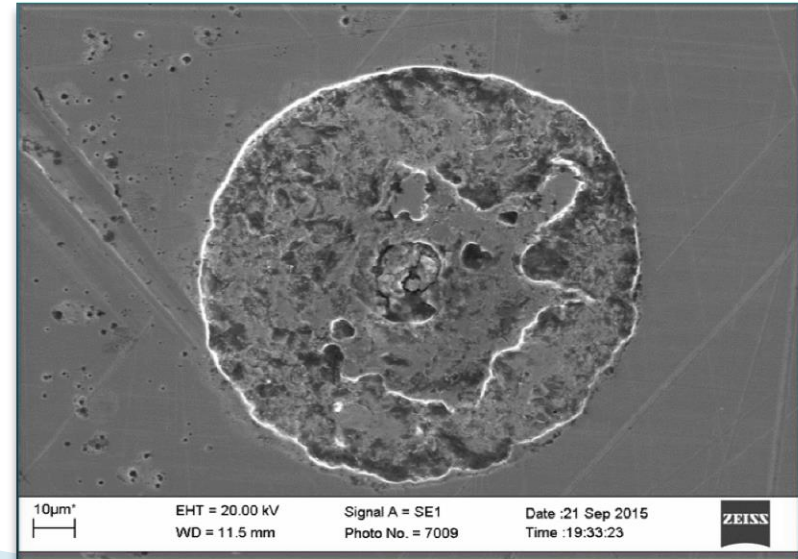
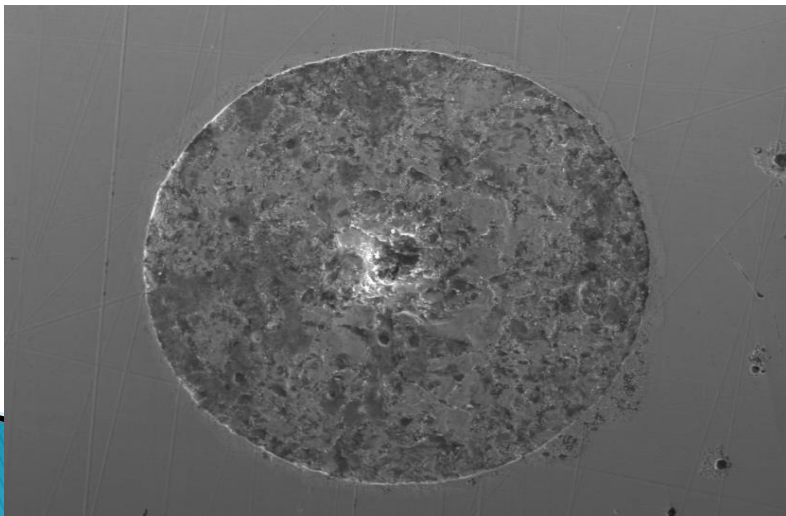
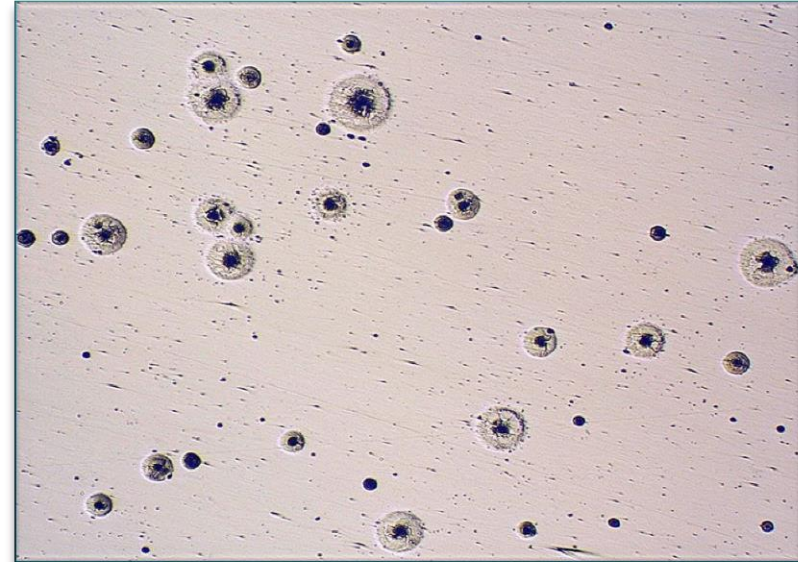
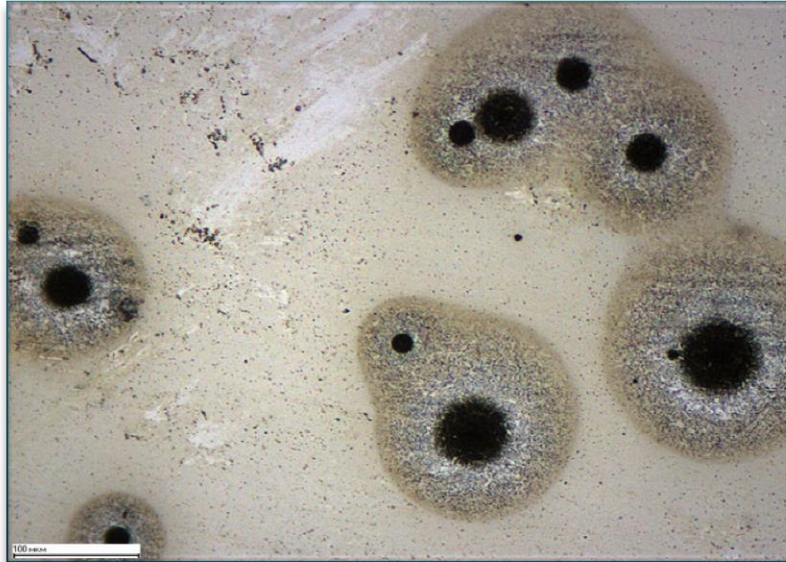
**Вид оксидно-сульфидного неметаллического включения с небольшой составляющей алюмомагниево-шпинели и сульфидной составляющей больших размеров**



**Зависимость величины прироста содержания КАНВ от температуры выдержки (4 часа) образцов стали 20КТ**



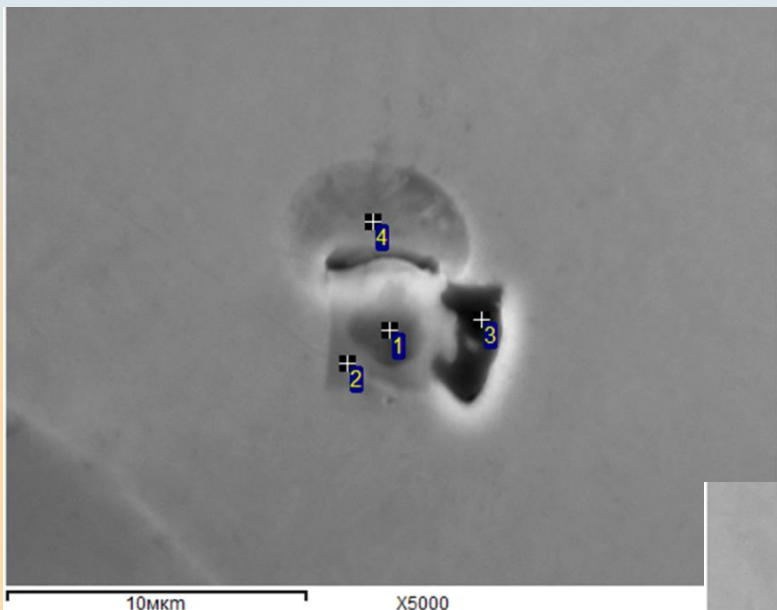
# Развитие коррозионных процессов в присутствии КАНВ на рассматриваемого оксидно-сульфидного типа



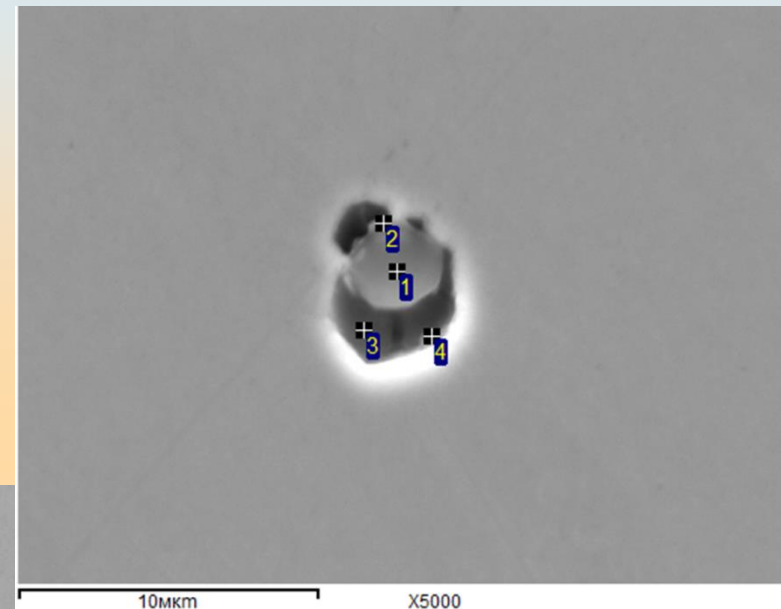
90µm



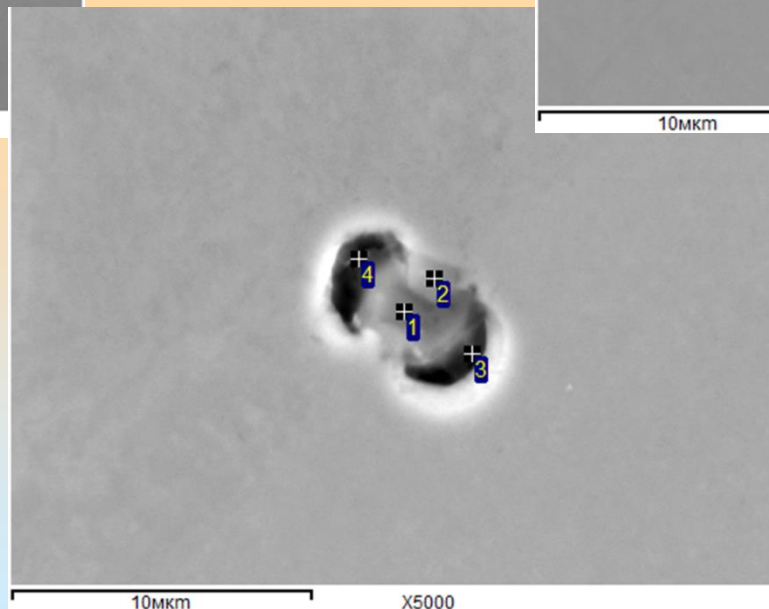
# Комплексные выделения цементита (карбидов) с нитридом титана, сульфидами кальция, марганца, алюмомагниево-шпинелью



С нитридом титана,  
алюмомагниево-  
шпинелью



С сульфидом  
марганца и  
алюмомагниево-  
шпинелью



С сульфидом кальция, марганца





# Механизмы упрочнения стали

Формирование упрочняющей фазы с участием цементита

- Комплексные выделения цементита (карбидов) на разных типах включений

Измельчение зерна

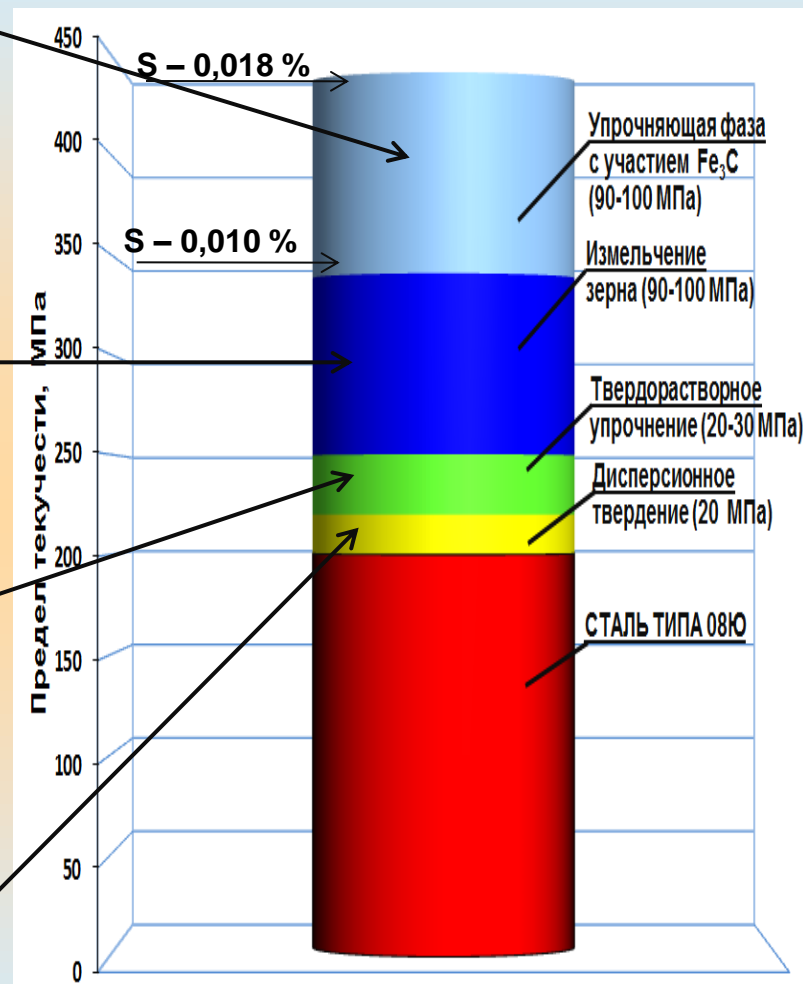
- Частицы  $MnS$  и  $Nb(C,N)$  размером 0,1-0,3 мкм
- Степень обжатия при х/п
- Режимы отжига

Твердорастворное упрочнение

Химический состав (Mn, Si)

Дисперсионное твердение

- Частицы  $Nb(C,N)$
- $r$ -ром 10 нм
- Температура конца прокатки
- Температура смотки
- Режимы отжига





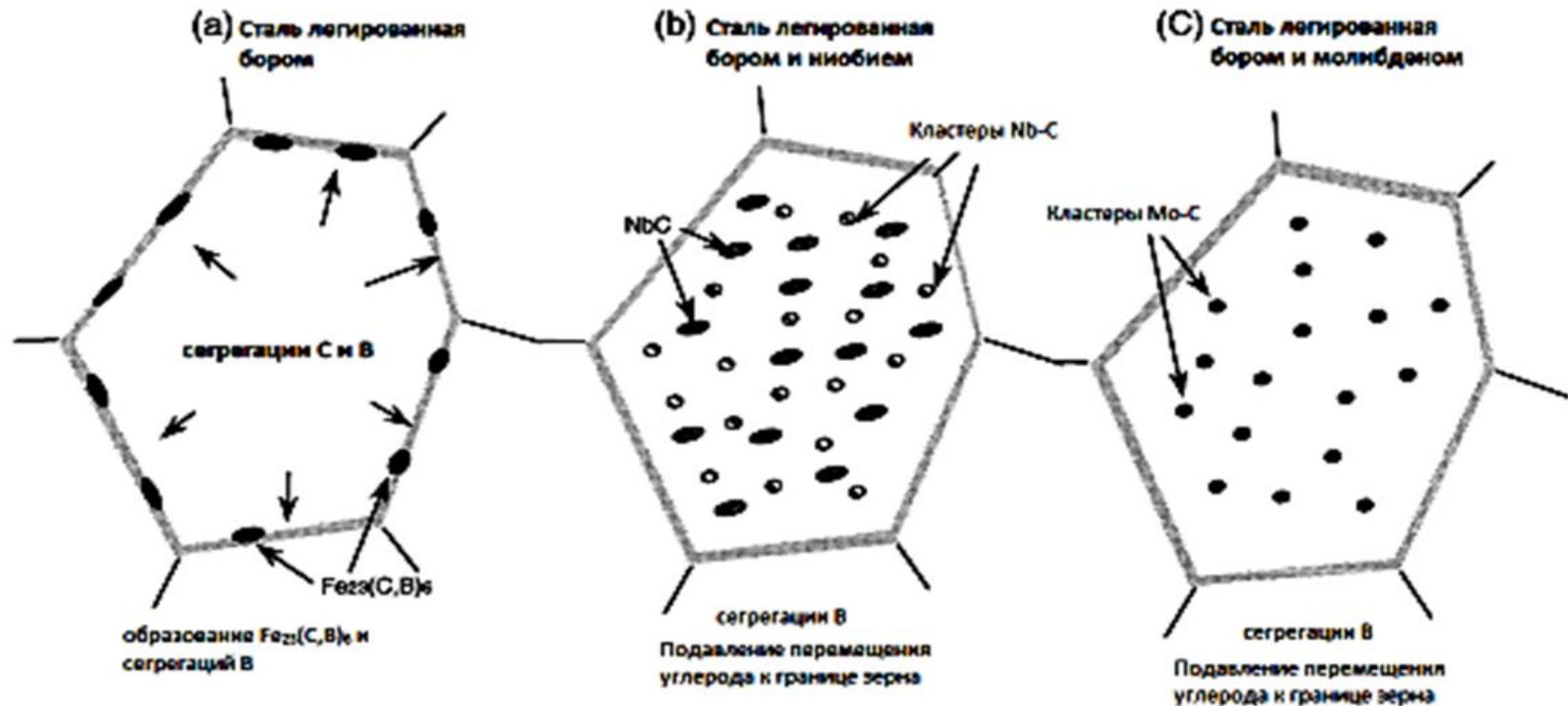
## Влияние содержания серы на предел текучести низколегированных сталей





# Формирование свойств борсодержащих сталей

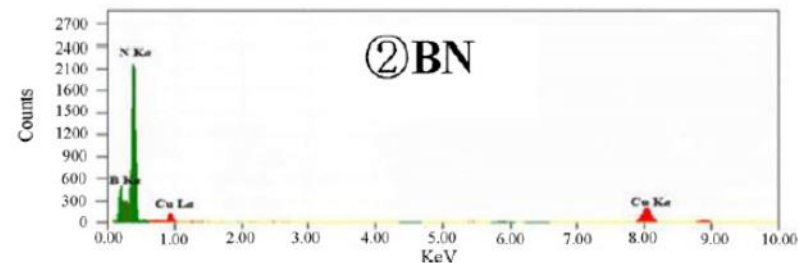
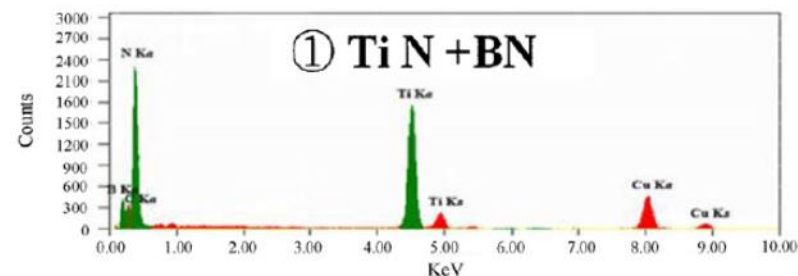
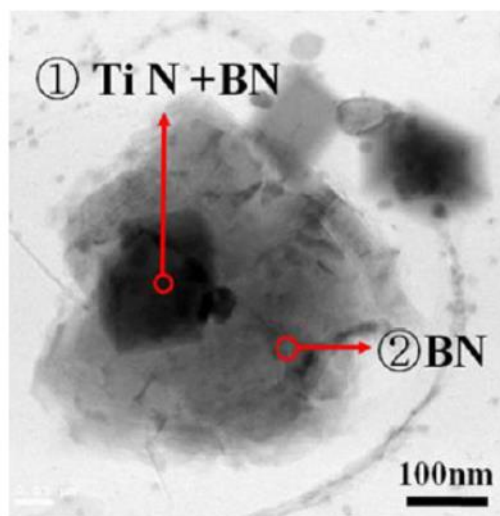
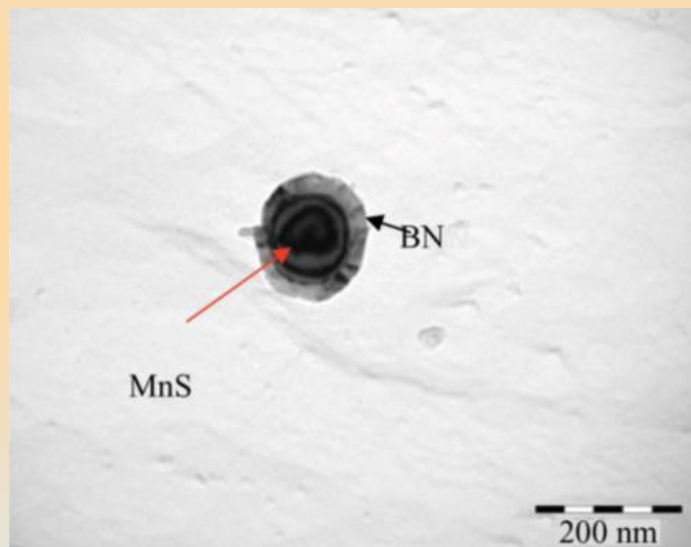
Механизмы подавления образования  $Me_{23}(C,V)_6$ , VN, благодаря формированию выделений избыточных фаз.





## Борсодержащие стали

- Формирование комплексных выделений, повышающих закаливаемость, прокаливаемость других свойств стали.



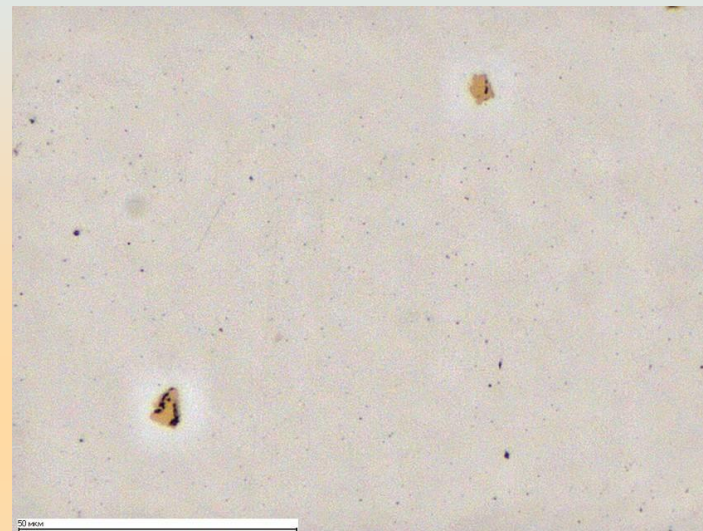




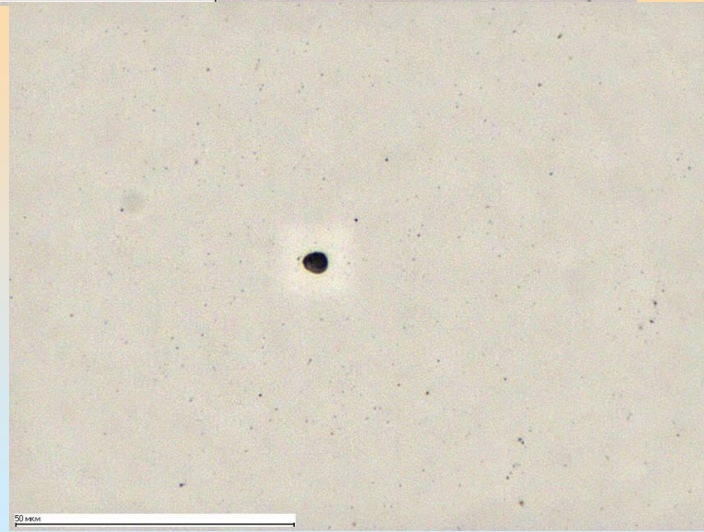
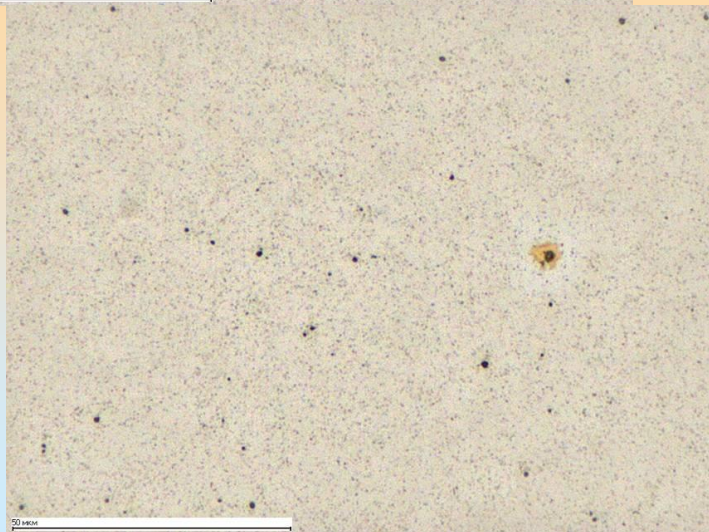
# Внешний вид неметаллических включений (выделений), присутствующих в осевой зоне, а также зоне столбчатых кристаллов НЛЗ



**А**



**Б**

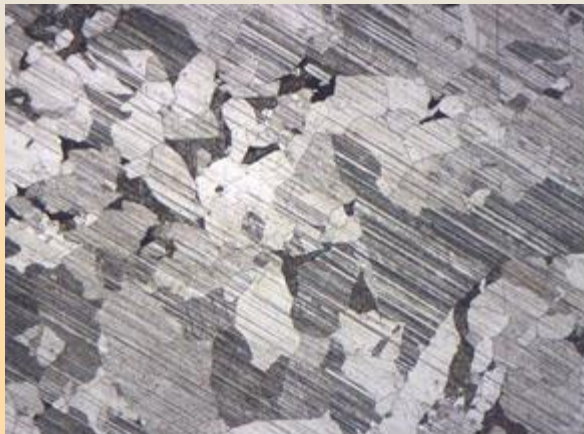






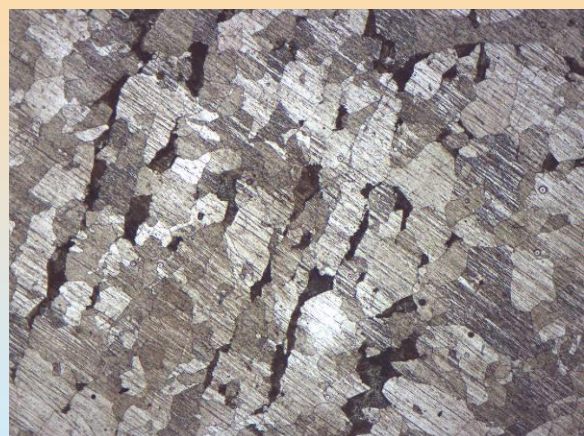
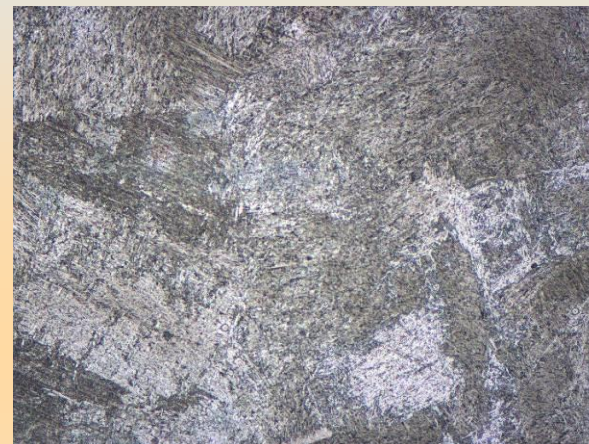
# Получаемая микроструктура металла НЛЗ

**Металл плавки А**

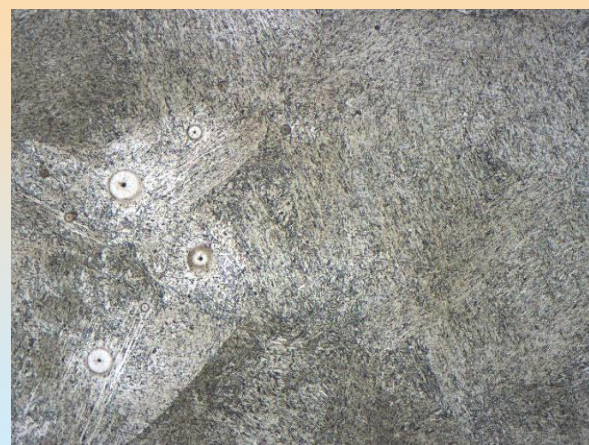


**Осевая зона - 157 мм  
от поверхности  
(x 50)**

**Металл плавки Б**

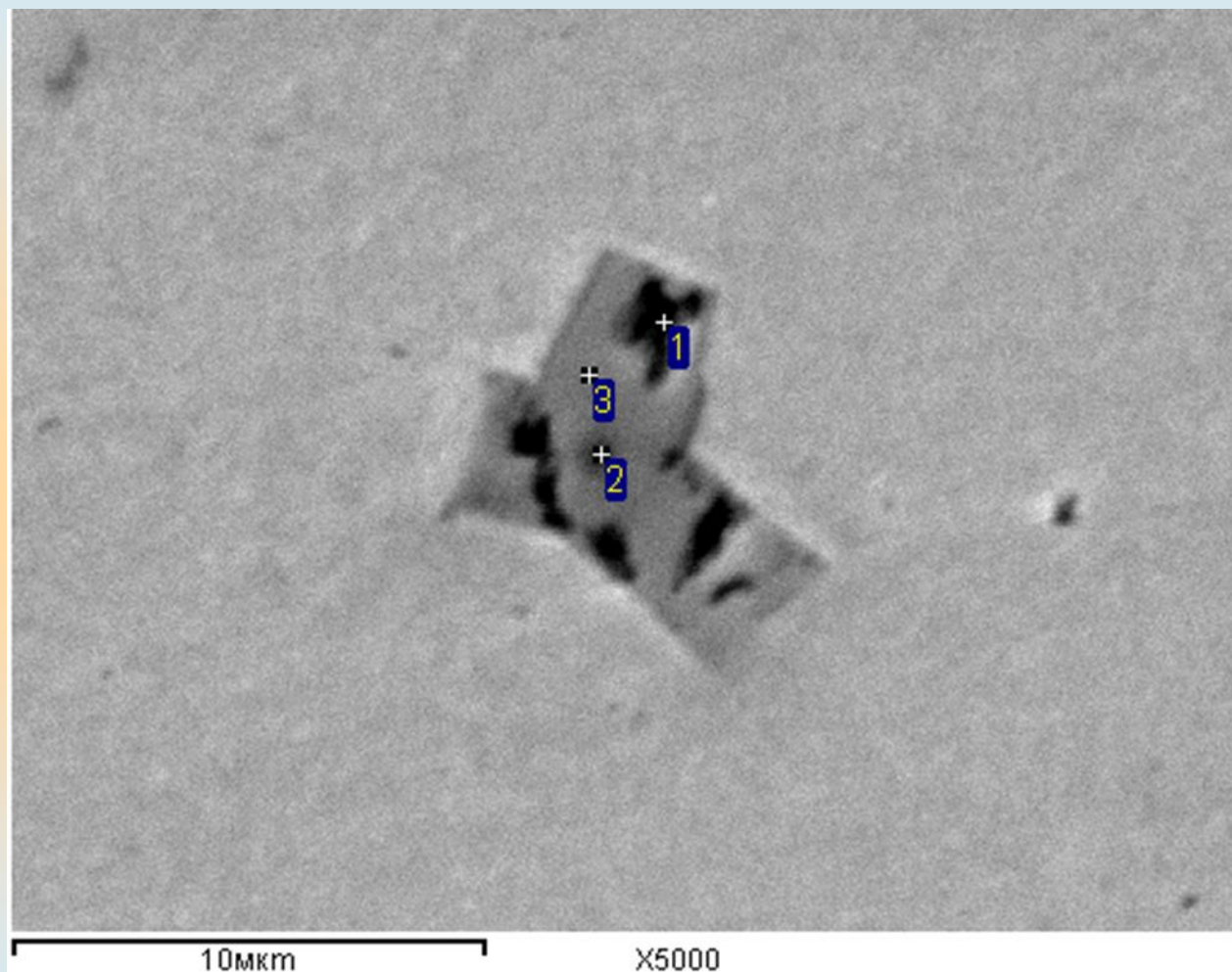


**Промежуточная зона –  
75 мм от поверхности  
(равноосных  
кристаллов)  
(x 50)**





## Комплексные выделения карбонитридов титана и ниобия

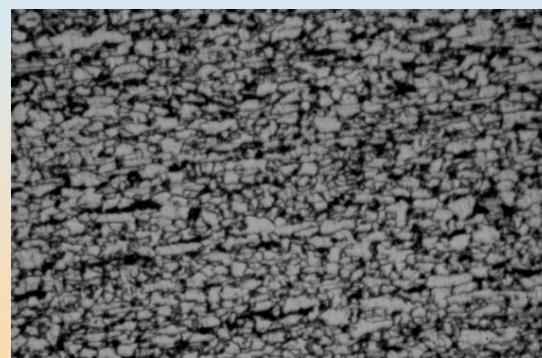
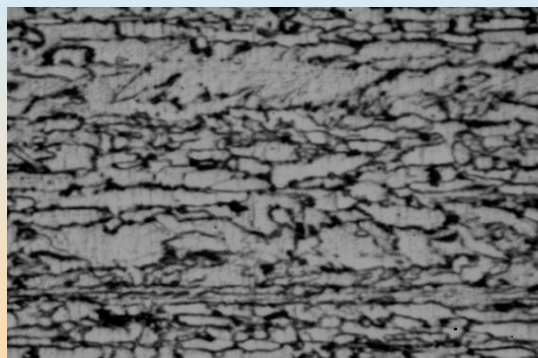


**Снижение эффективности действия ниобия по сдерживанию рекристаллизации, измельчению зерна и дисперсионному твердению**





## Обратное перераспределения элементов благодаря формированию карбонитридных выделений



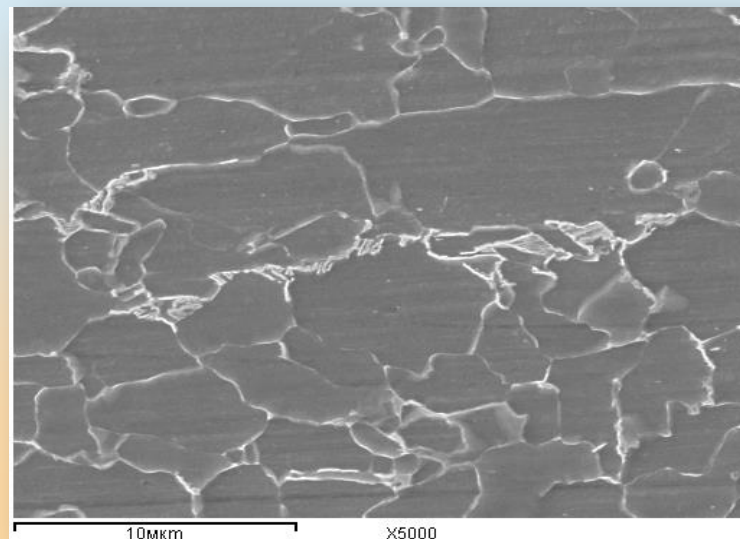
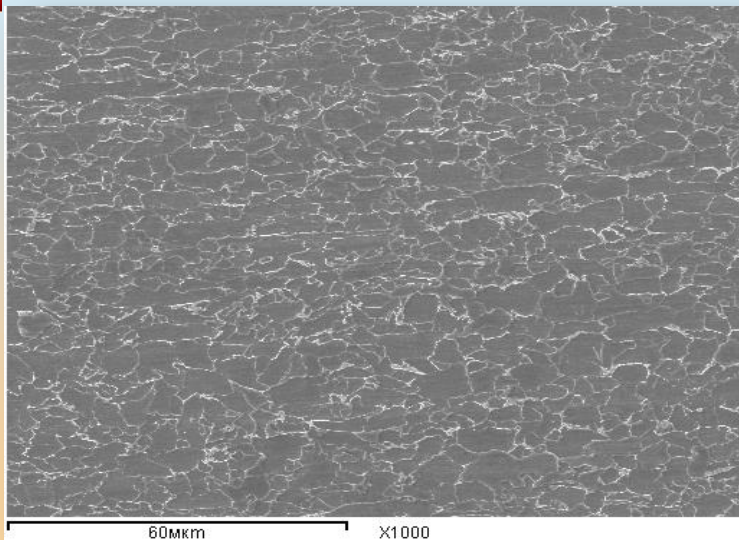
Для стали состава (мас. %): C-0,090, Si – 0,320, Mn – 1,41, P -0,012, S – 0,0050, Al – 0,029, N -0,0073, V – 0,0040, Ti – 0,014, Nb – 0,068

### Результаты спектрального анализа по толщине образцов

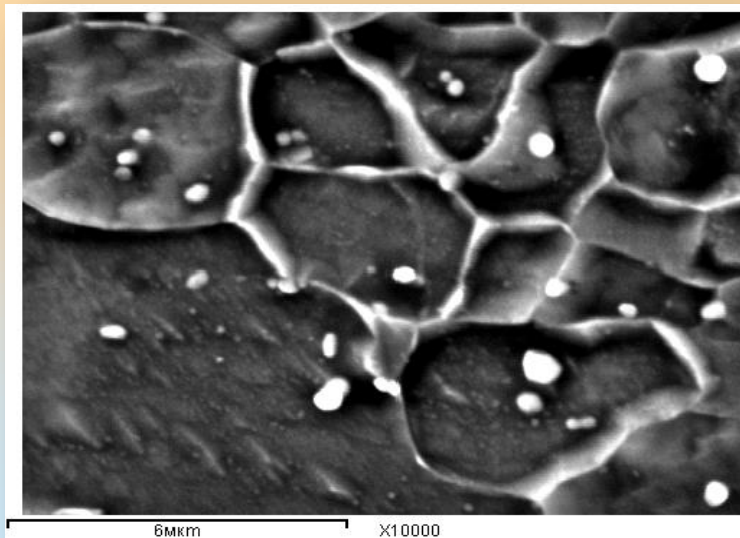
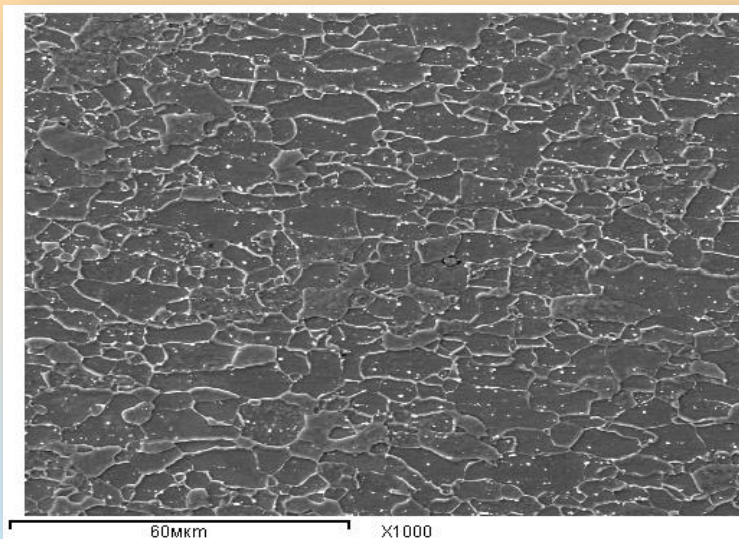
№ режима обработки	№ партии, рулона	Содержание углерода, %	
		место по толщине образца	
		середина	поверхность
1	38802, 3	0,094±0,002	0,091±0,002
	38799, 3	0,092±0,002	0,090±0,002
2	38803, 3	0,082±0,002	0,091±0,003
	38807, 2	0,084±0,003	0,091±0,003



# Формирование структуры ферритно-цементитных сталей



**Структура горячекатаного подката**



**Структура холоднокатаного проката**



## Комплексные выделения цементита на межфазных карбидных, карбонитридных выделениях ванадия и/или ниобия



Межфазные выделения  $V(C,N)$  с цементитом в горячекатаном прокате



Межфазные выделения  $V(C,N)$  с цементитом в после термообработки





## Сверхвысокопрочные наноструктурированные выделениями (Mo,Ti)C стали



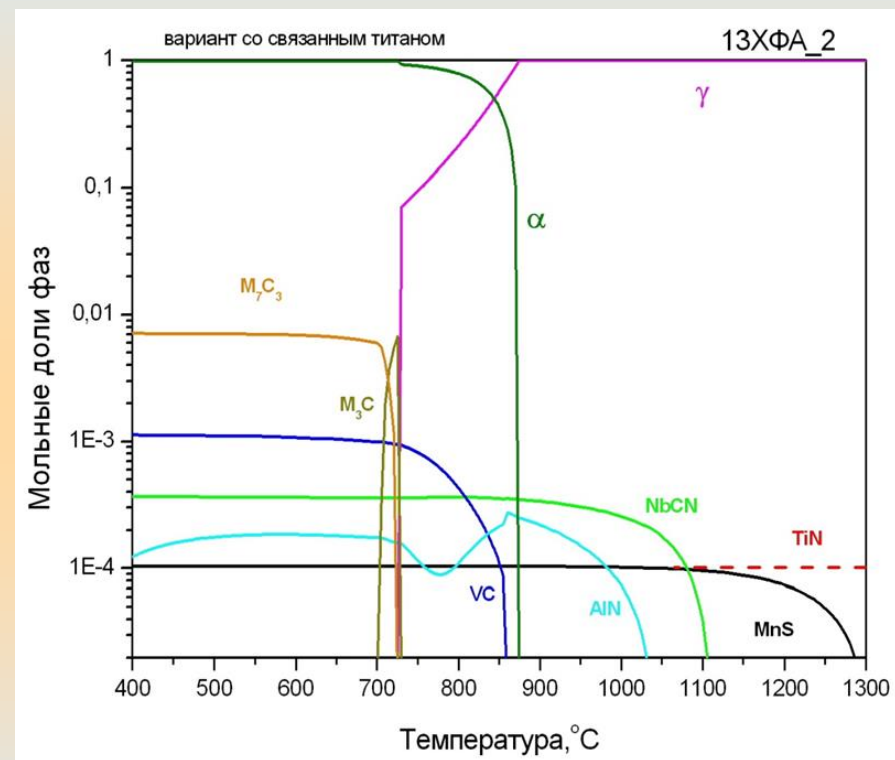
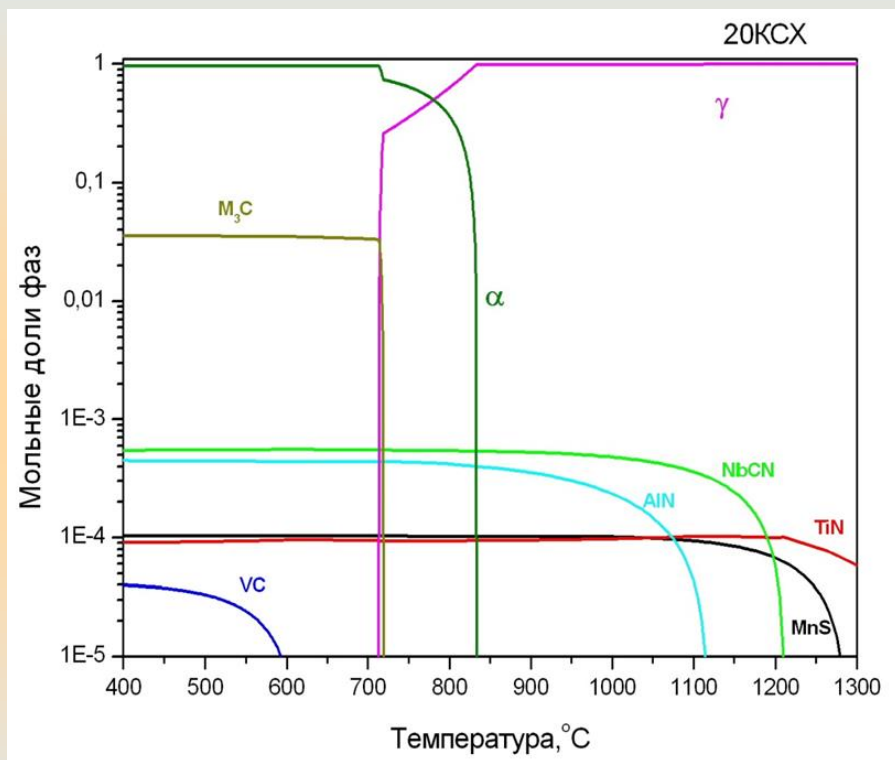
Расстояние между слоями составляет ~ (15 нм – 30 нм),  
размер выделений 2-3 нм и менее,  
расстояние между частицами в слое ~ 2-4 диаметра частиц.  
Присутствуют крупные (6-8 нм) хаотично расположенные выделения

### **Достигаемые показатели**

**предела текучести – 700-900 МПа, относительного удлинения – 18-20%,  
высокая коррозионная стойкость, хорошая свариваемость.**



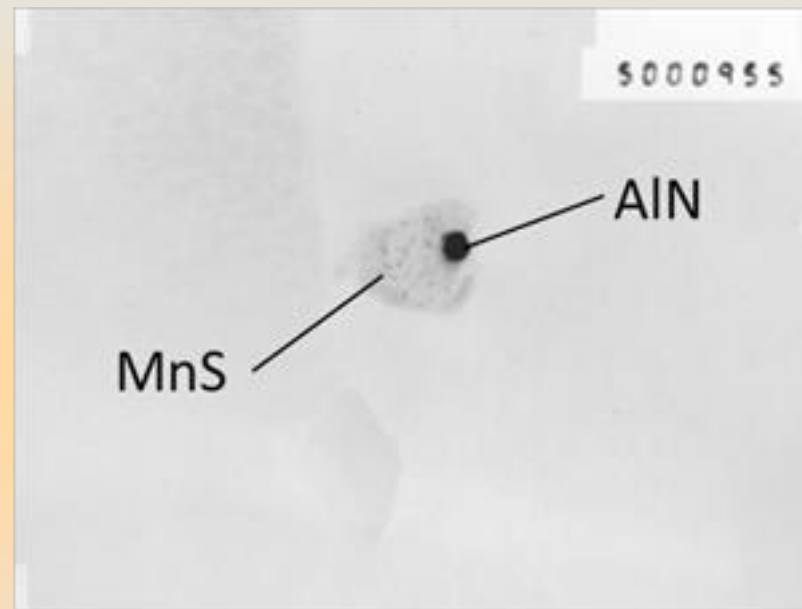
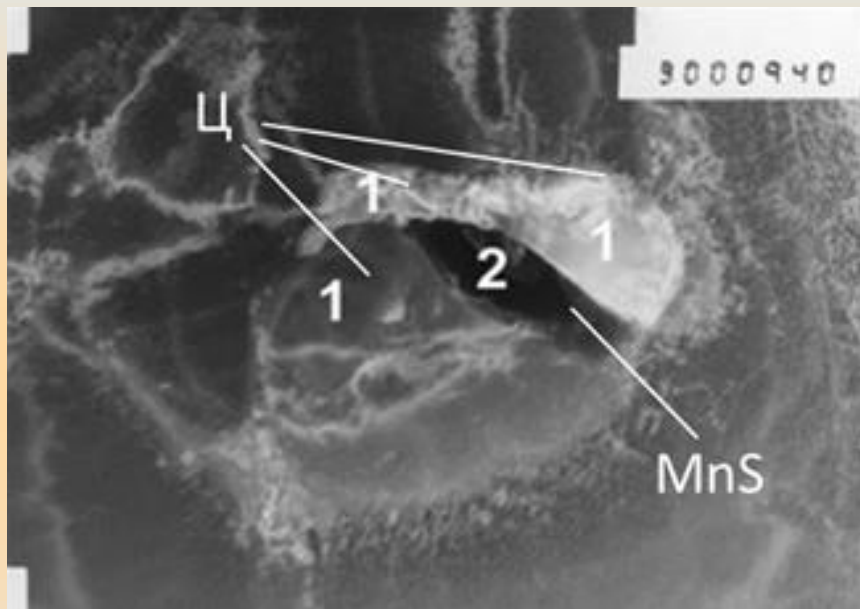
# Условия выделения избыточных фаз в сталях 20-КСХ, 13-ХФА



**Формирование выделений MnS в процессе горячей прокатки приводит к измельчению зерна, повышению прочности и хладостойкости стали**



## Комплексные выделения MnS с цементитом и AlN



**Обеспечение высокой пластичности и штампуемости  
низкоуглеродистых автолистовых сталей**



**На основании управления комплексными включениями (выделениями) разработаны технологии производства:**

- **трубных сталей с увеличенными до 2-3 раз показателями стойкости против общей и локальной коррозии, хладостойкости, эксплуатационной надежности;**
- **нового класса холоднокатаных ферритно-цементитных сталей разных категорий прочности с пределом текучести до 500-550 МПа, относительным удлинением до 30-35%;**
- **высокопрочных микролегированных сталей, в том числе для основного слоя новых биметаллических материалов, с пределом текучести до 700-900 МПа, относительным удлинением 15-25%;**
- **сталей для изготовления прогрессивными методами горячей штамповки изделий разных категорий прочности (временное сопротивление до 2200 МПа;**
- **высокоштампуемых низкоуглеродистых сталей высших категорий ВYТЯЖКИ.**





**ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»**



**Спасибо за внимание!**