



МНТК ДЕТАЛИ МАШИНОСТРОЕНИЯ ИЗ ЧУГУНА  
С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ.  
СВОЙСТВА. ТЕХНОЛОГИЯ. КОНТРОЛЬ.  
17-18 октября 2017 года

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# О СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ЕЁ ВЛИЯНИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МОДИФИКАТОРОВ ЧУГУНА

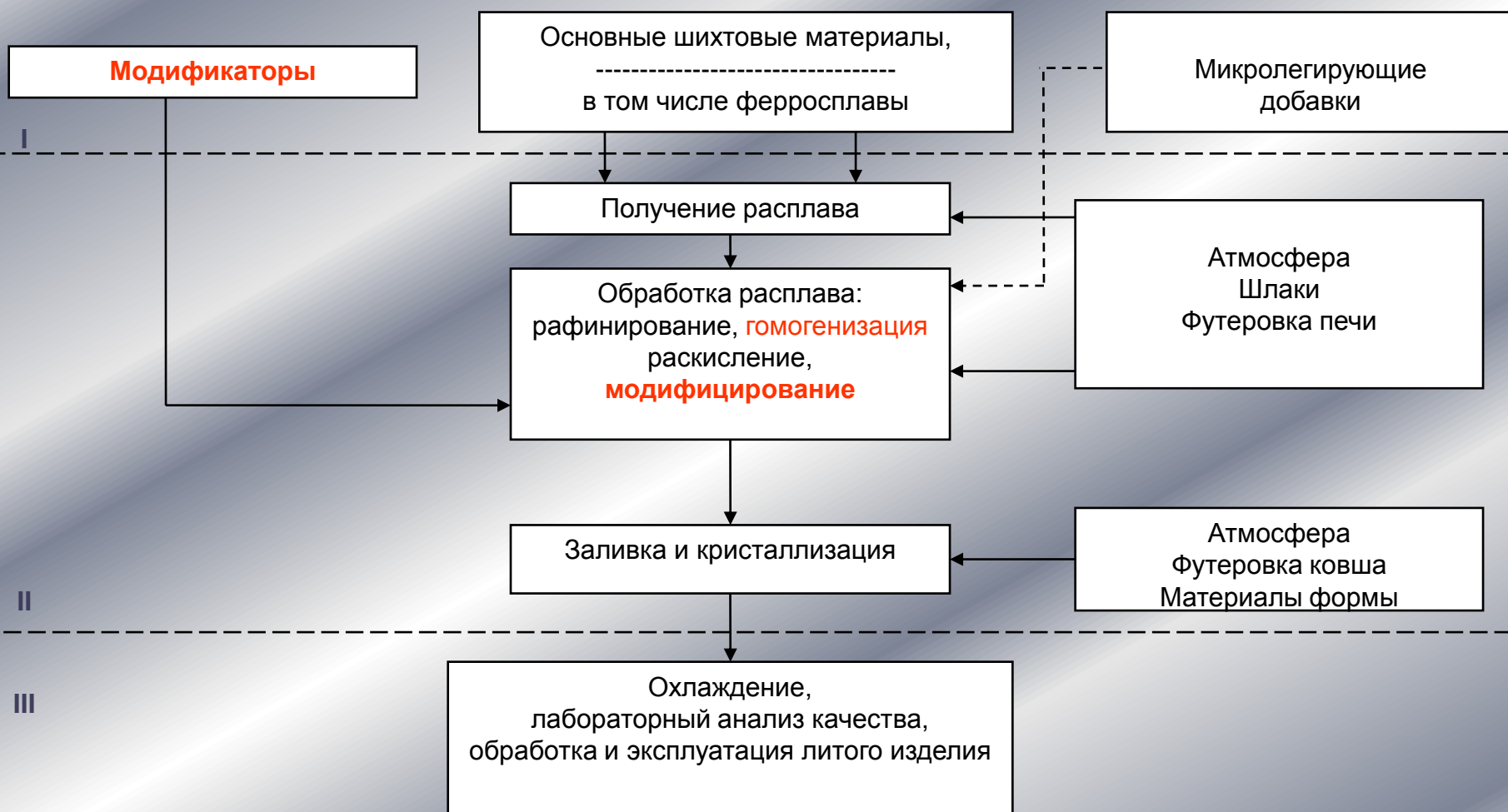
Д.т.н. Панов А.Г.  
ООО ИЦМ, ФГАОУ ВО НЧИ КФУ  
г. Набережные Челны,



*НЧИ(ф) К(П)ФУ  
Автомобильное отделение  
Кафедра МТК*



# НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ В СИСТЕМЕ «ШИХТА-РАСПЛАВ-ЛИТОЕ ИЗДЕЛИЕ» (НИКИТИН В.И. – ПАНОВ А.Г.)



I – закладка, II – трансформация и передача, III – проявление: при охлаждении, анализе и т.д.2

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРАКТИКА ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСПЛАВОВ МОДИФИКАТОРОВ

- Сплавление компонентов.
- Растворение в базовом расплаве на основе ферросилиция в печи или в форме.
- Углеродотермический.
- Металлотермические (силикотермический, алюмосиликотермический, алюминотермический).

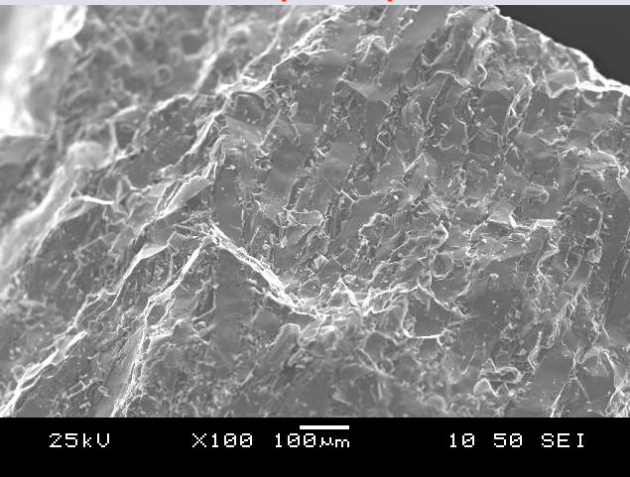
# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРАКТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЛАВОВ МОДИФИКАТОРОВ

- в изложницах с получением «толстого» слитка толщиной более 10 см,
- в изложницах с получением «тонкого» слитка толщиной от 2 до 10 см,
- намораживанием с получением ленты толщиной от 0,1 до 0,3 см,
- центробежным литьём с получением «тонкого» слитка толщиной от 0,3 до 5 см.

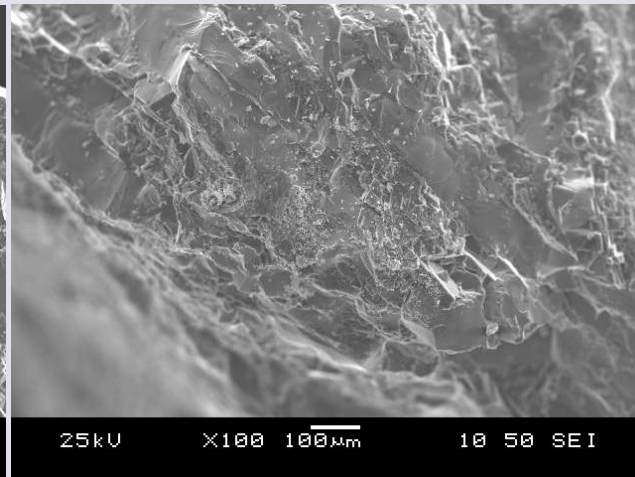
# СТРУКТУРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ МОДИФИКАТОРОВ ТИПА ФСМГ

Модификатор	Массовая доля, %				
	Mg	Ca	$\Sigma$ РЗМ	Si	Al
Модификатор 1 чушка, крупка	5,5	0,4	0,3 (La)	47,1	0,9
Модификатор 2 чушка, крупка	5,9	0,5	0,6	52,4	1,2
Модификатор 3 чипс	5,9	0,8	0,8	51,8	1,2

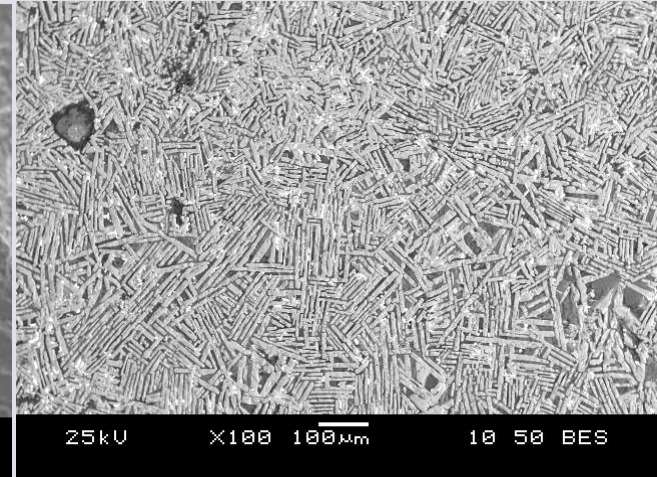
Модификатор 1



Модификатор 2



Модификатор 3

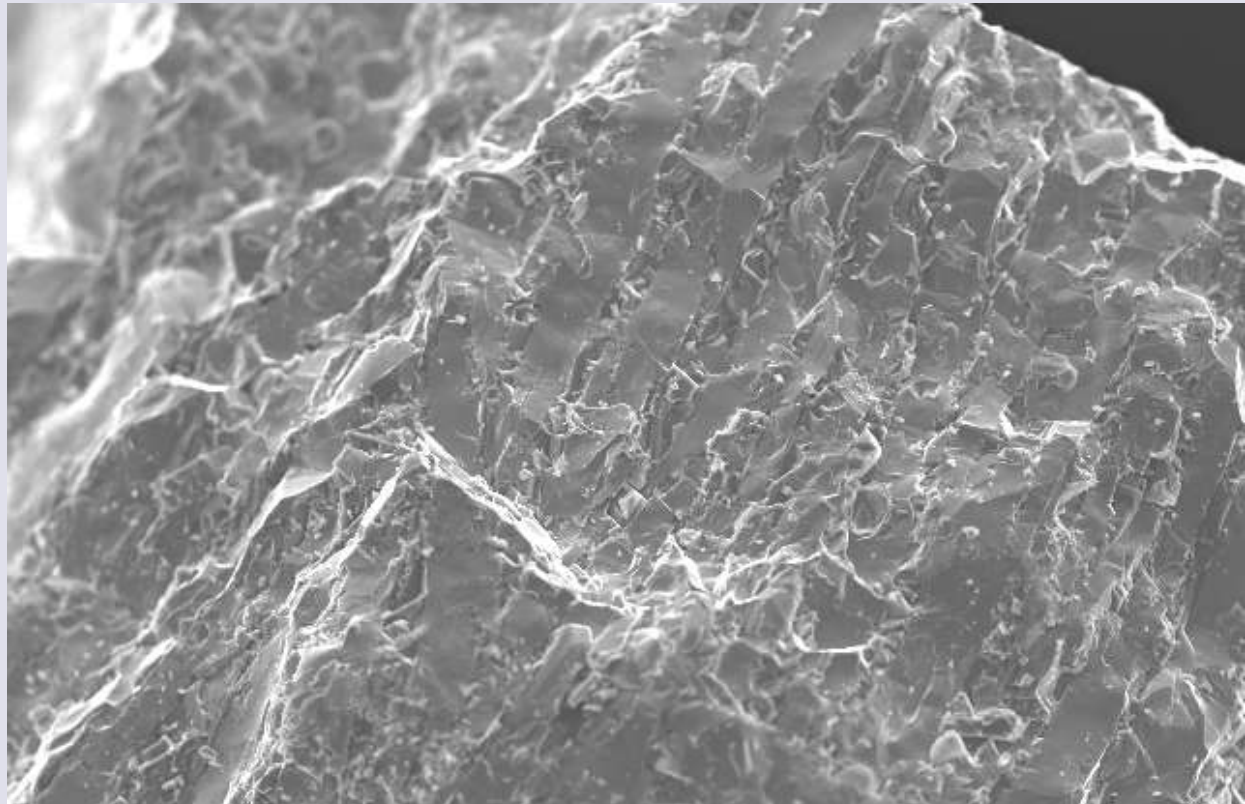


# СТРУКТУРА МОДИФИКАТОРА 1 ТИПА ФСМг

Модификатор	Массовая доля, %				
	Mg	Ca	ΣРЗМ	Si	Al
Модификатор 1 чушка, крупка	5,5	0,4	0,3 (La)	47,1	0,9

## Характеристика оксидов

Распределение	Очень редкие включения
Размеры	Округлые включения размерами ~ 1-3 мкм, ~ 1 шт./мм <sup>3</sup>
Виды оксидов	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , до 10% CaO и до 2% MgO



25kV

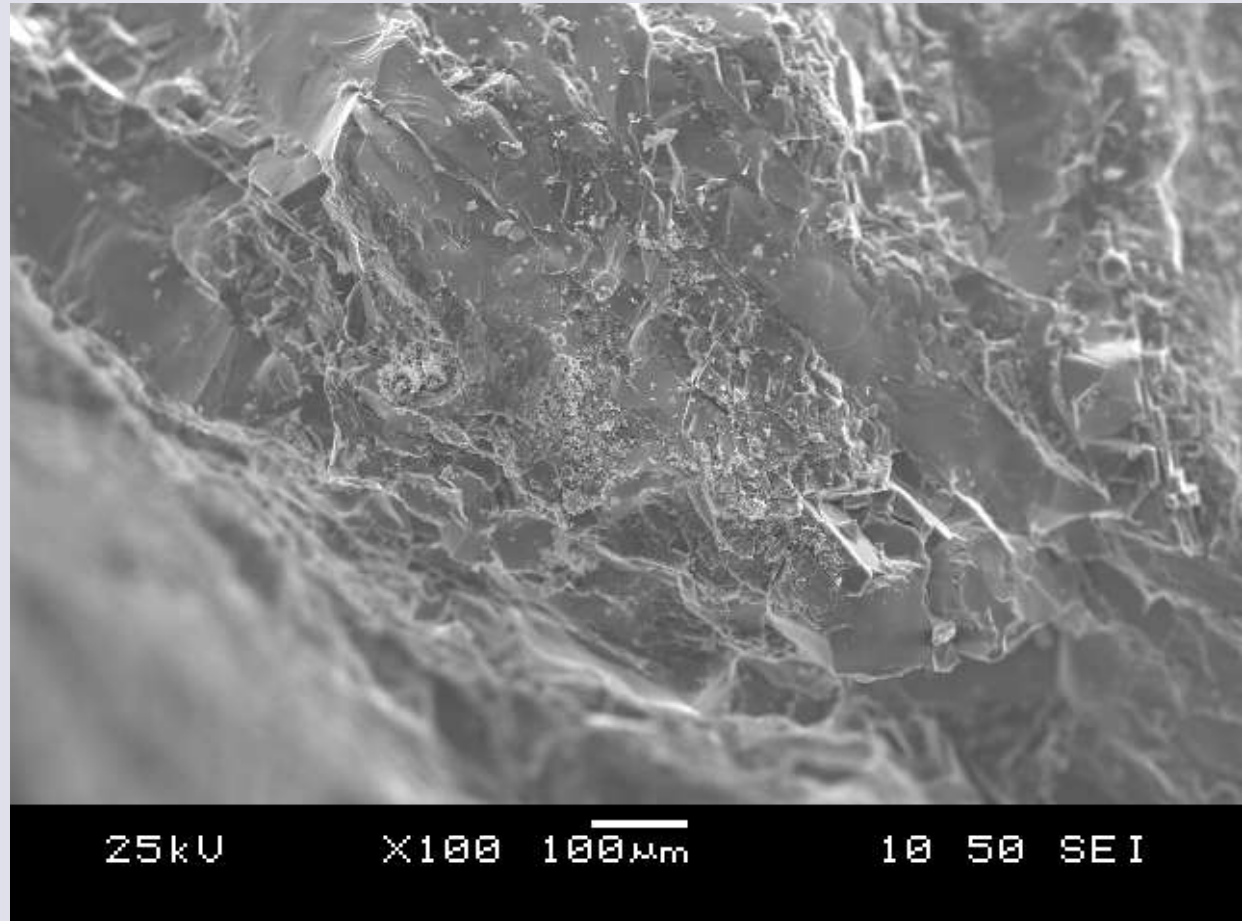
X100 100µm

10 50 SEI

# СТРУКТУРА МОДИФИКАТОРА 2 ТИПА ФСМг

Модификатор	Массовая доля, %				
	Mg	Ca	ΣРЗМ	Si	Al
Модификатор 2 чушка, крупка	5,9	0,5	0,6	52,4	1,2

Характеристика оксидов	
Распределение	Скопления пластин и отдельные пластины Области скоплений 50 – 100 мкм
Размеры	Гексагональные пластины толщиной 1 мкм, диаметром 5 мкм, ~ 10 <sup>6</sup> шт./мм <sup>3</sup>
Виды оксидов	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , иногда с MgO KO, NaO и CaO

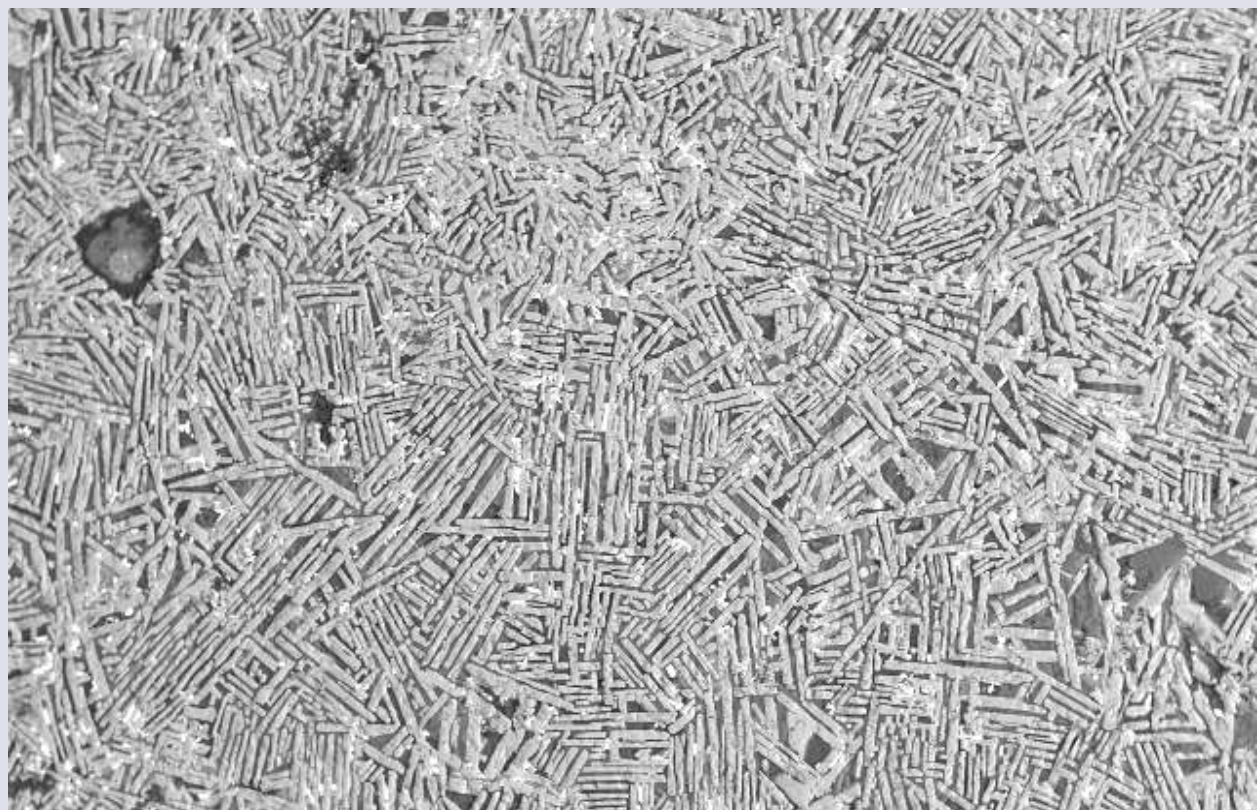


# СТРУКТУРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ МОДИФИКАТОРОВ ТИПА ФСМГ

Модификатор	Массовая доля, %				
	Mg	Ca	ΣРЗМ	Si	Al
Модификатор 3 чипс	5,9	0,8	0,8	51,8	1,2

## Характеристика оксидов

Распределение	Изолированные и в виде скоплений равномерно распределённые включения.
Размеры	Округлые включения. Преобладающий размер ~ 1-5 мкм, максимальные размеры до 5 мкм, ~ 10 <sup>9</sup> шт./мм <sup>3</sup>
Виды оксидов	MgO, редко - MgO·SiO <sub>2</sub>



25kV

X100 100µm

10 50 BES

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫЯВЛЕННЫХ ФАЗ СФЕРОИДИЗИРУЮЩИХ МОДИФИКАТОРОВ

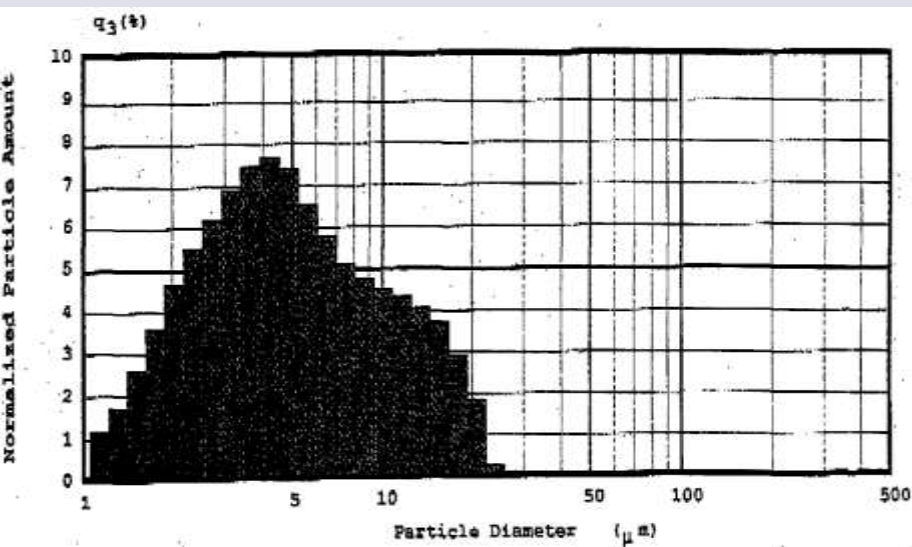
Фаза	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	Характер плавления	Характеристики фаз
Тугоплавкие			
$\gamma\text{-FeNi-C}$	1150-1450	Инконгруэнтно $\rightarrow \gamma\text{-FeNi}$ (~1450)	Основа: дендриты диаметром до 100 мкм, эвтектические пластины толщиной менее 1 мкм
$\text{RESi}_2$	~1600	Конгруэнтно	Зёрна порядка 10 мкм
$\text{RECaSi}_2$	~1600	Конгруэнтно	Звездообразные зёрна порядка 10 мкм
C	> 2000	-	ШГф4,5 диаметром до 55 мкм
RE-P	~ 3000	Конгруэнтно	Зёрна менее 5 мкм
Si	1414	Конгруэнтно	Основа в виде пластин и отдельные включения до 10 и до 100 мкм
$\alpha\text{-FeSi}_2$	1220	Инконгруэнтно $\rightarrow \text{FeSi}$ (1410, конгр)	Отдельные чёткие пластины толщиной 15...120 мкм и основа в виде зёрен до 1000 мкм
Нетугоплавкие			
$\text{MgNiFeC}$	~1150	-	Основа
$\text{Mg}_2\text{Si}$	1085	Конгруэнтно	Зёрна от 5 до 100 мкм
$\text{MgCaSi}$			Зёрна от 5 до 100 мкм
$\text{BaSi}_2$	1180	Конгруэнтно	Зёрна размерами порядка 100 мкм
$\text{BaCaSi}$	1000-1200	Конгруэнтно	
$\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{Si}_2$	~800	Перитектика $\rightarrow \text{BaAl}_4$ (1104, конгр) + ... $\text{BaSi}_2$ (1180, конгр)	
$\text{Mg}_2\text{Ca}$	714	Конгруэнтно	Ликват
$\text{CaAl}_2\text{Si}_2$	< 1100		Включения сложного состава размером до 10 мкм
$\text{MgCaAlSi}_2$			



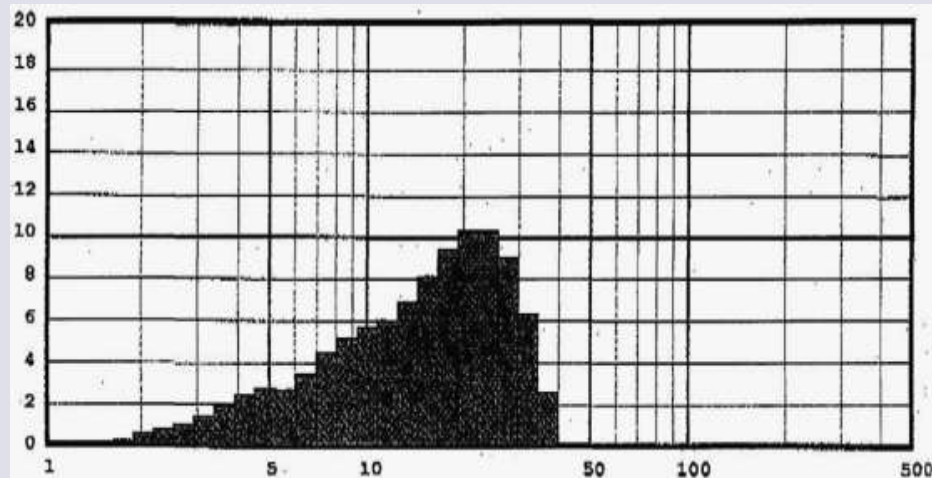
# РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МОДИФИКАТОРОВ ЧУГУНА НА Fe-Si ОСНОВЕ

Результаты ПФА (XRD-6000 ф. Shimadzu) и КХА содержания Mg в ФСМг7 химическим и P/C методами

Вид мод-ра	Si	Mg <sub>2</sub> Si	MgO	FeSi <sub>2</sub>	FeSi	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Si <sub>РСА</sub>	Si <sub>хим.</sub>	Mg <sub>РСА</sub>	Mg <sub>хим.</sub>
Слиток	25,08	19,16	6,12	43,62	1,55	4,46	56,8	53,4	7,8	6,9
Чипс	5,37	37,99	нет	40,17	9,93	4,54	55,1	55,5	6,5	6,4



Распределение по размерам частиц **чужкового** модификатора в излучателях для РСА



Распределение по размерам частиц **чипсового** модификатора в излучателях для РСА

# ВЫВОДЫ

1. Присутствующие на рынке модификаторы, близкие по декларируемому химическому составу, имеют различные фазовые составы и микропримеси.
2. Энергетическое состояние элементов модификаторов (фазовый состав), влияет на процессы измельчения лабораторной пробы и флуоресценции во время её контроля рентгеноспектральным методом.
3. В нормативные документы на модификаторы необходимо включать описание технологии (метода) их получения, а методики подготовки проб и контроля состава модификаторов разрабатывать с учётом их типичного фазового состава.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРАКТИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДИФИКАТОРОВ

Ферросплавные массовые производства с основной задачей снижения материальных и энергетических затрат

Специализированные производства с небольшими плавильными агрегатами, высоким удельным расходом электроэнергии и дорогой основой шихты (ферросилицием)

большие объёмы неоднородных расплавов

руды, лома и отходы различного происхождения, обладающие уникальной наследственностью

компенсация затрат дешёвыми отходами

макро и микро неоднородность слитков, наличие случайных микропримесей и различной структурной наследственности, передающейся модифицируемому расплаву чугуна

# НЕОБХОДИМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОДИФИКАТОРАМ (ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ)

- 1 Область применения;
- 2 Метод изготовления;
- 3 Нормативные ссылки;
- 4 Термины и определения (в том числе, понятия "партии" модификатора);
- 5 Технические требования;
  - 5.1 Требования к модификаторам (состав, структура, физические свойства, химические свойства, **МОДИФИЦИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ**, ...);
  - 5.2 Требования к компонентам модификатора;
  - 5.3 Маркировка;
  - 5.4 Упаковка;
- 6 Требования безопасности;
- 7 Требования охраны окружающей среды;
- 8 Правила приёмки;
- 9 Методики испытаний:
  - 9.1 отбора представительных проб;
  - 9.2 определения физических свойств (насыпная плотность, фракционный состав, влажность, удельная теплоёмкость, стойкость к саморассыпанию и др.);
  - 9.3 определения химических свойств (химический состав, стойкость к окислению в воздушной и влажной среде);
  - 9.4 определения эффективности (модифицирующей способности) модификатора;
- 10 Транспортирование и хранение;
- 11 Указания по применению;
- 12 Гарантии изготовителя.

# МОДЕЛЬ ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ МОДИФИКАТОРОВ

Документы, содержащие  
требования к порядку проведения  
добровольной сертификации

Документы, содержащие  
требования к качеству  
модификаторов

Шихта и технология  
для производства  
модификатора

Сертифицировать  
модификатор

Ресурсы,  
оборудование,  
персонал

Модификатор,  
соответствующий  
требованиям к  
качеству

Сертификат  
соответствия