Программное обеспечение SIAMS

для автоматизированного контроля качества микроструктуры

Разработка новых шкал микроструктуры графита в чугуне

Компания СИАМС. Область компетенции:

- Цифровая микроскопия
- Средства измерения на базе оптических микроскопов

Головной офис: Россия, Екатеринбург, ул. Коминтерна, 16, оф.604
Год создания: 1991
Штат: 70 человек

Сферы применения:

- металлургия и машиностроение
- горнорудная промышленность
- нефтедобывающая промышленность
- коксохимическая промышленность
- цементная промышленность
- биология
- медицина

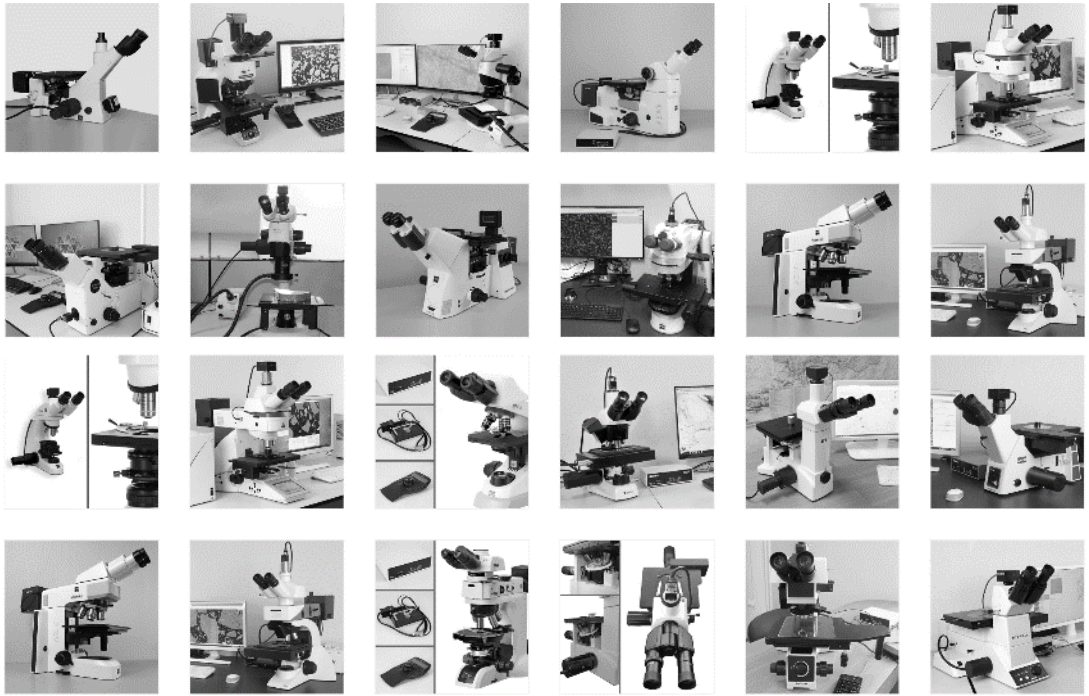
34
Годы работы

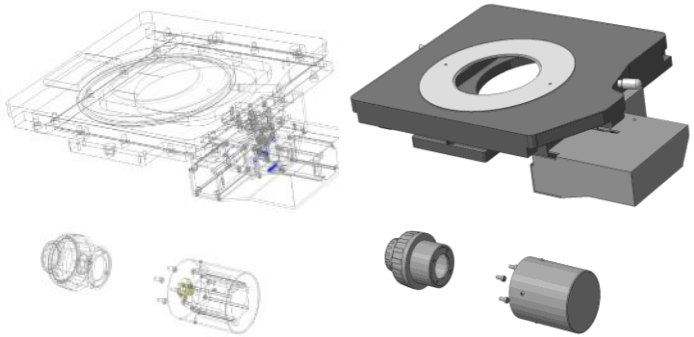
3000+
Внедрения в России и за рубежом

200+
Комплекты моторизации микроскопов

СИСТЕМЫ МОТОРИЗАЦИИ SIAMS ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ МИКРОСКОПОВ

- Разработано и произведено ООО «СИАМС»

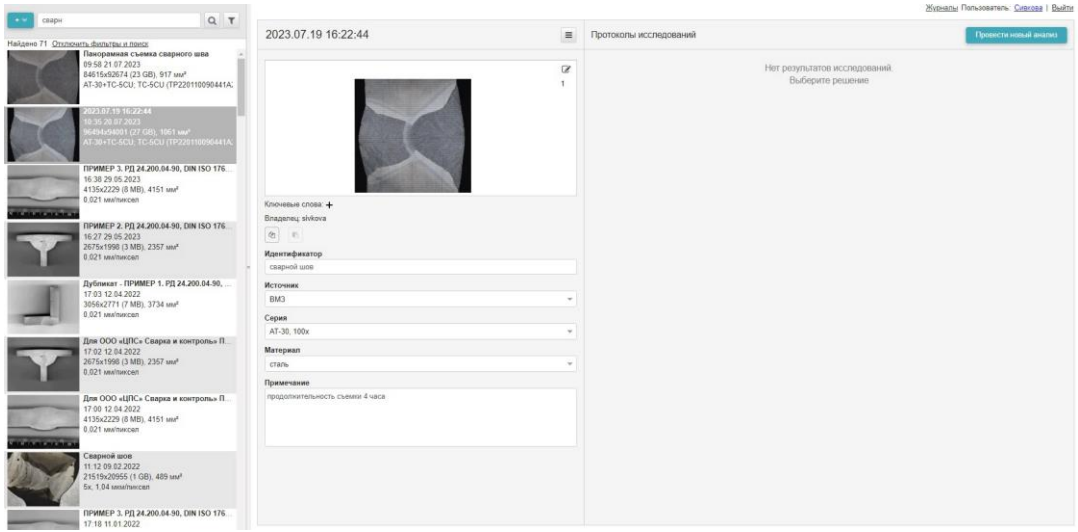


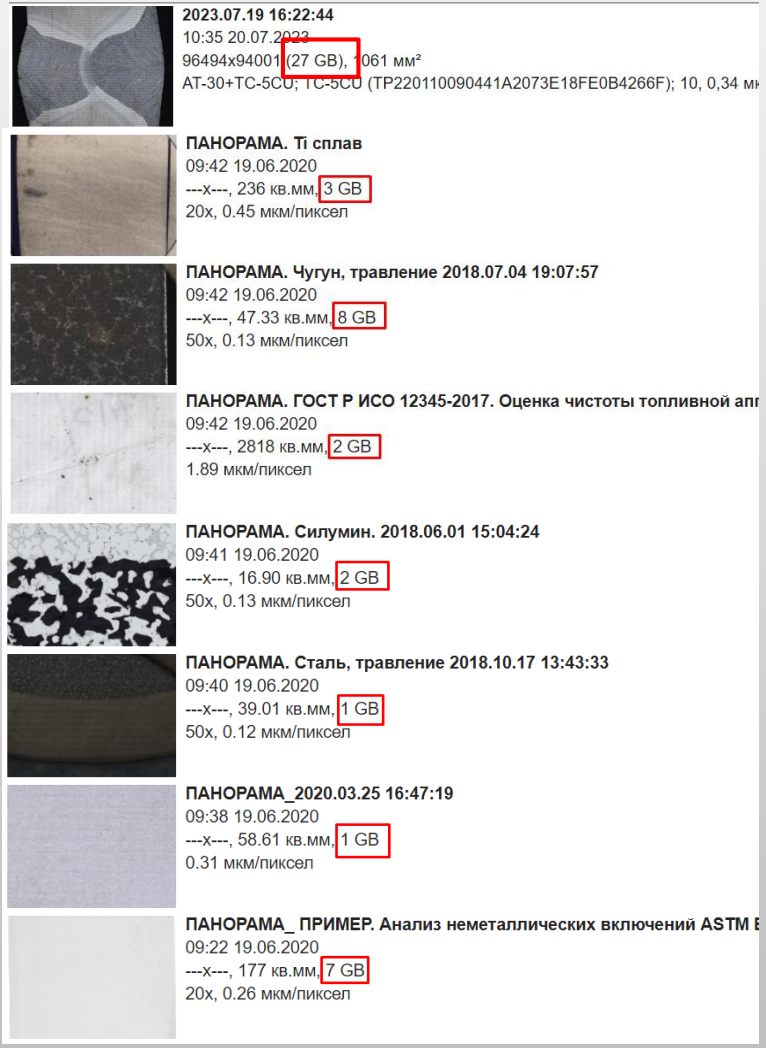


- В комплект моторизации микроскопа входит стол или привод для перемещения столика, привод фокусировки, привод револьвера объективов, контроллер и джойстик.
- Собственное производство позволяет удешевить предложение в 2 и более раз по сравнению с зарубежными аналогами.
- Моторизованный микроскоп позволяет справляться с анализом сложных образцов: трудно поддающихся выравниванию поверхности, требующих анализа больших областей.

Особенности ПО SIAMS:

- Серверная технология
- Создание и анализ цифровых двойников микрошлифов размером до 25 гб
- Большой выбор методик анализа по стандартам





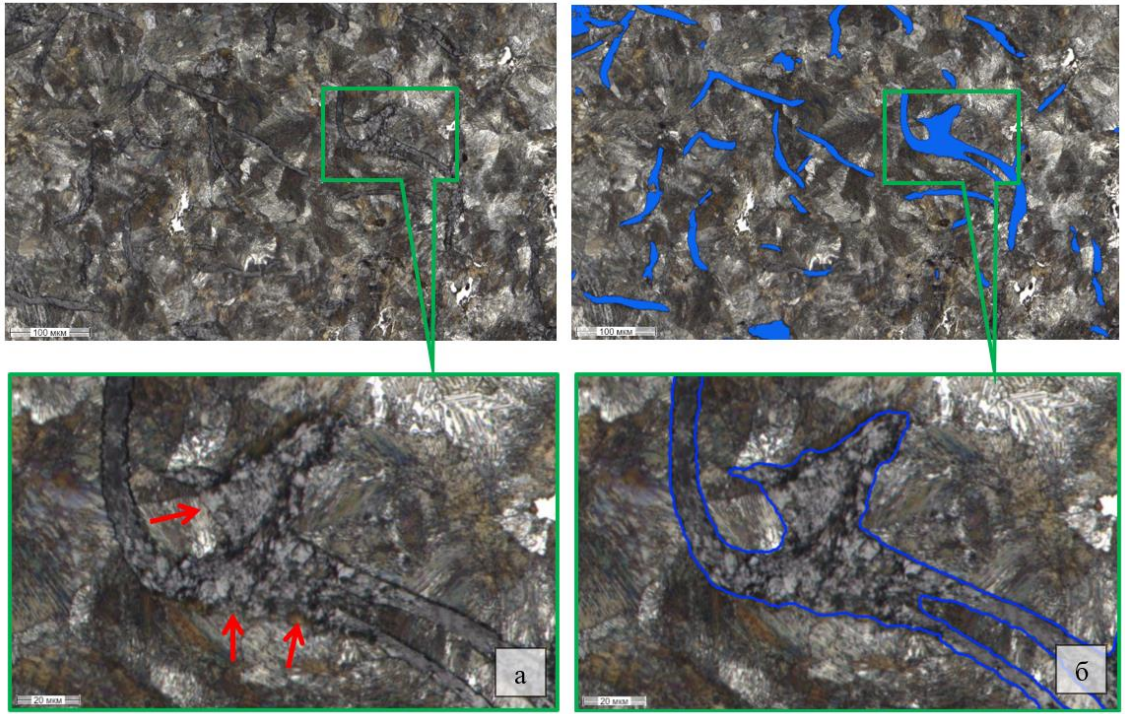
Программное обеспечение SIAMS

- Является частью средства измерения №85829-22 "Анализатор структур многомасштабный SIAMS"
- Включено в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Регистрационный номер 7107. Приказ Минкомсвязи России от 06.10.2020 №515
- Кроме классических методик анализа микроструктуры может использовать обучаемую систему искусственного интеллекта

SIAMS AIM

Обучаемая система искусственного интеллекта

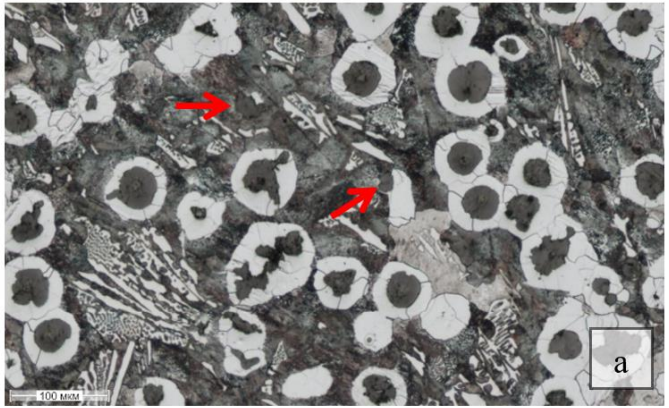
Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:

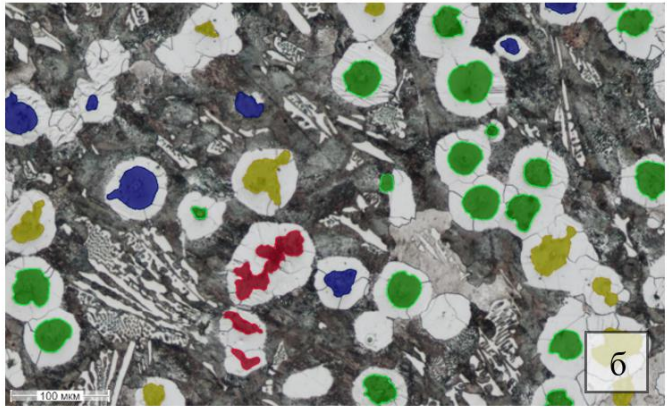


Микроструктура чугуна после химического травления:

- на фоне перлита слабо различимы частицы графита;
- стрелками показаны участки, где видимая граница раздела фаз отсутствует;
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания структурных составляющих с применением нейронной сети.

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:



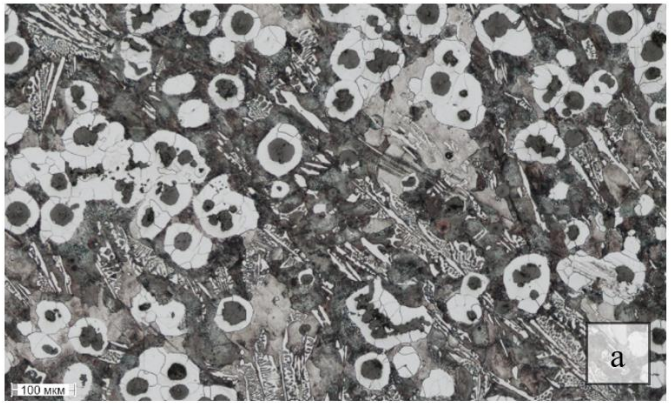


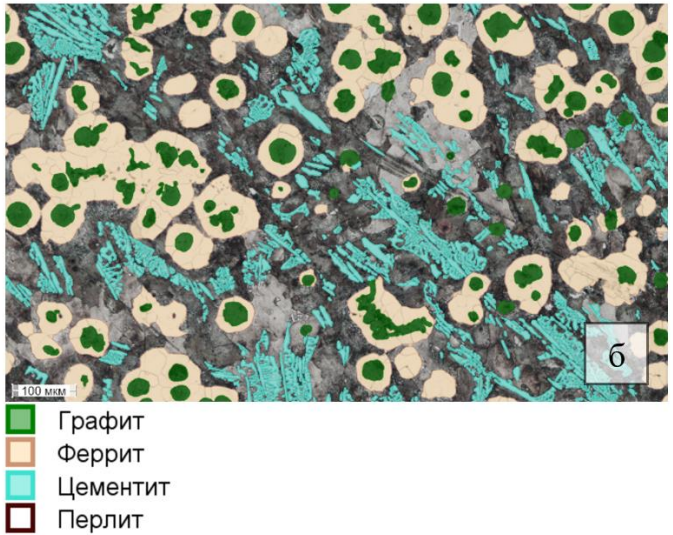
Вермикулярный графит
ШГф3 (Компактная)
ШГф4 (Шаровидная неправильная)
ШГф5 (Шаровидная правильная)

Микроструктура чугуна после химического травления:

- на фоне перлита слабо различимы частицы графита;
- стрелками показаны участки, где видимая граница раздела фаз отсутствует;
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания структурных составляющих с применением нейронной сети.

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:

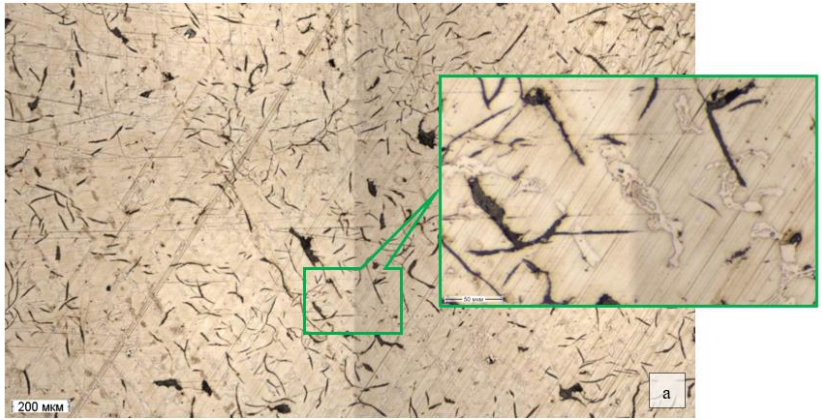


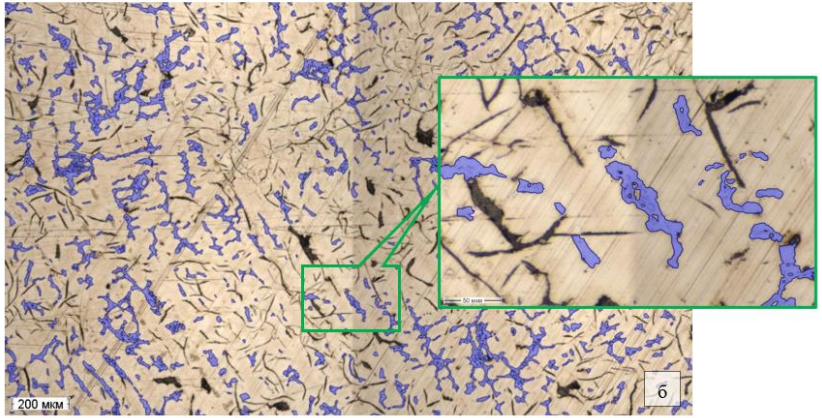


Микроструктура чугуна после химического травления:

- частицы цементита идентичны по яркости участкам феррита;
- стрелками показаны участки, где видимая граница раздела фаз отсутствует;
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания структурных составляющих с применением нейронной сети.

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:

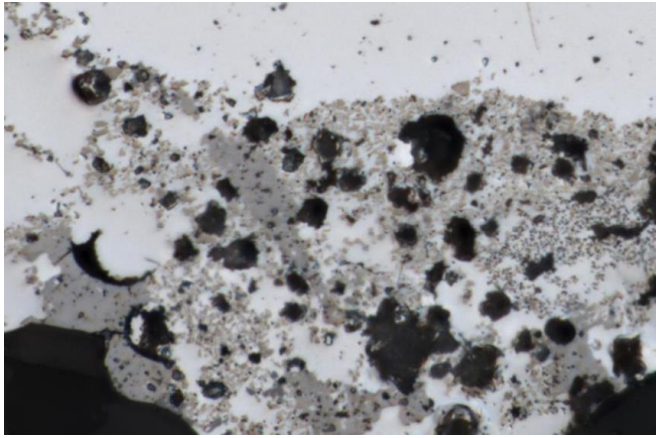


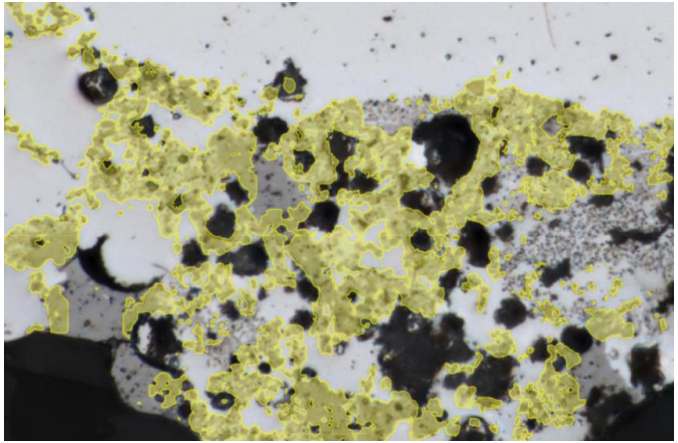


Микроструктура чугуна после слабого травления чугуна типа «нирезист»: аустенит с частицами избыточного цементита.

- ❑ Частицы цементита слабо различимы на фоне аустенита.
- ❑ Задача для автоматического распознавания была дополнительно усложнена:
  - исключен этап финальной полировки;
  - изображение получено с отключенной функцией выравнивания освещенности микроскопа, что привело к повышению градиента яркости объектов обеих фаз.
- ❑ Изменение условий пробоподготовки и съемки не привело к ухудшению результата распознавания.
- ❑ Цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания структурных составляющих с применением нейронной сети.

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:

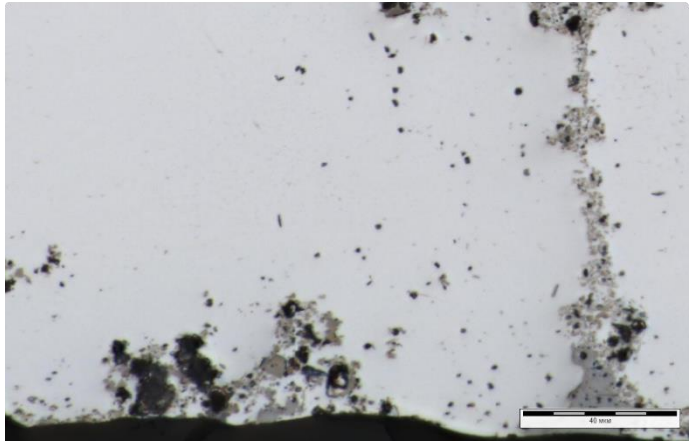


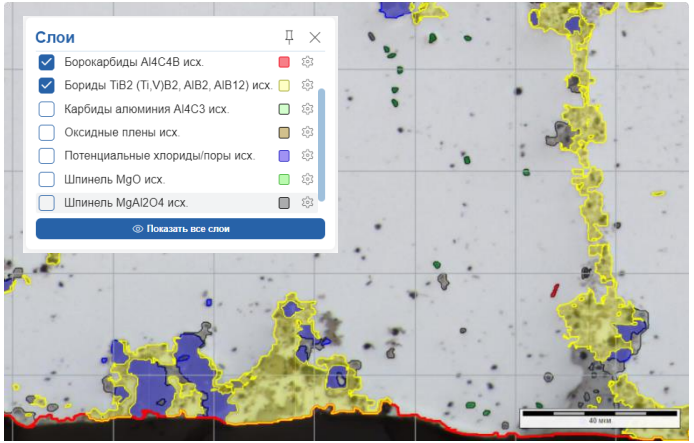


Неметаллические включения в алюминиевом сплаве. Проба PoDFA:

- среди прочих включений осуществляется поиск боридов TiB2;
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания с применением нейронной сети.

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:





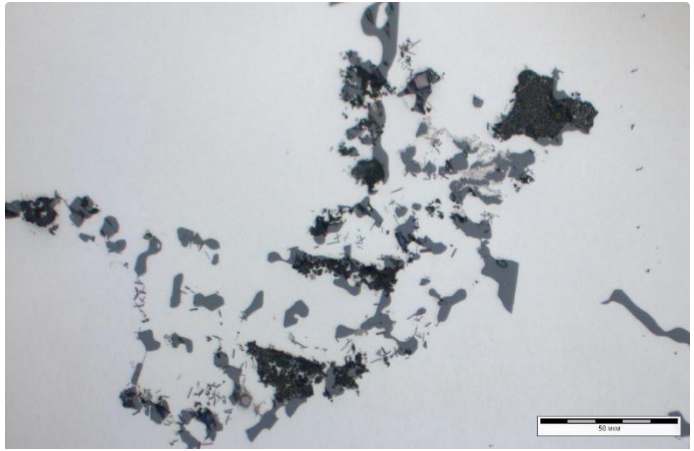
Неметаллические включения в алюминиевом сплаве. Проба PoDFA:

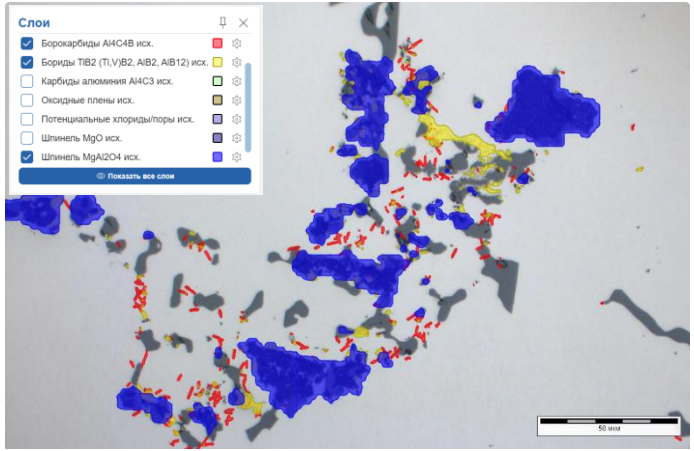
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания с применением нейронной сети.

Содержание включений:

- Шпинель MgAl2O4 - 0,0259 мм²/кг (10,2%);
- Бориды TiB2 - 0,2344 мм²/кг (85,8%);
- Карбиды Al4C3 > 3 мкм - 0,0061 мм²/кг (2,2%);
- Борокарбиды Al4C4B - 0,0050 мм²/кг (1,8%).

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:





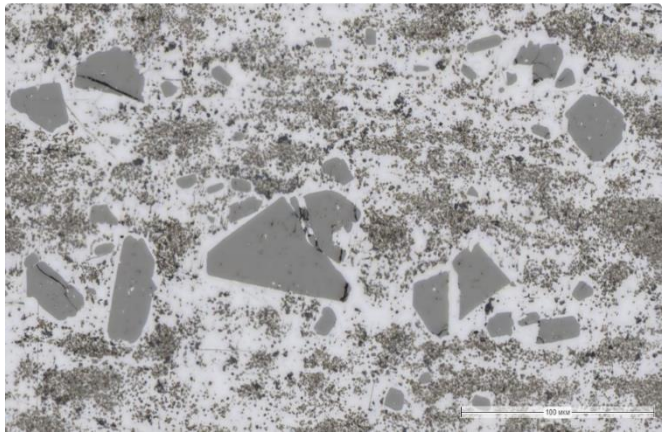
Неметаллические включения в алюминиевом сплаве. Проба PoDFA:

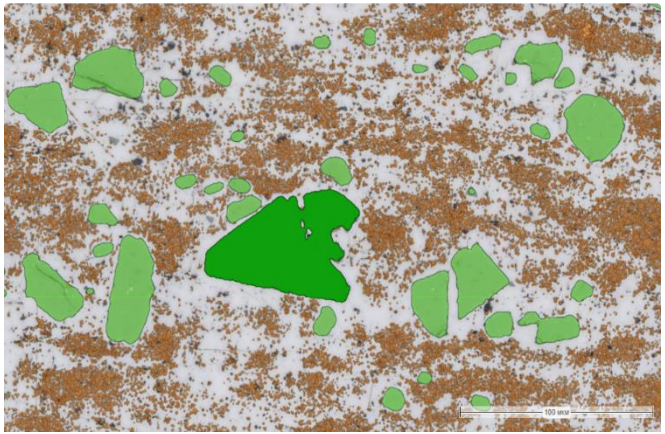
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания с применением нейронной сети.

Содержание включений:

- Шпинель MgAl2O4 - 0,0124 мм²/кг (10,5%);
- Бориды TiB2 - 0,0994 мм²/кг (84,2%);
- Борокарбиды Al4C4B - 0,0350 мм²/кг (5,3%).

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:





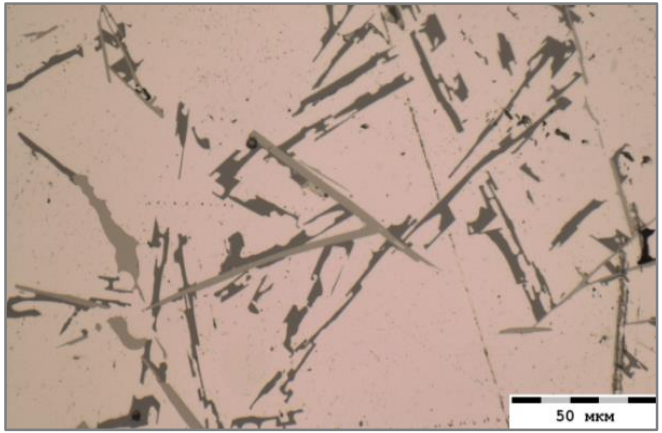
Анализ лигатуры AlTiB :

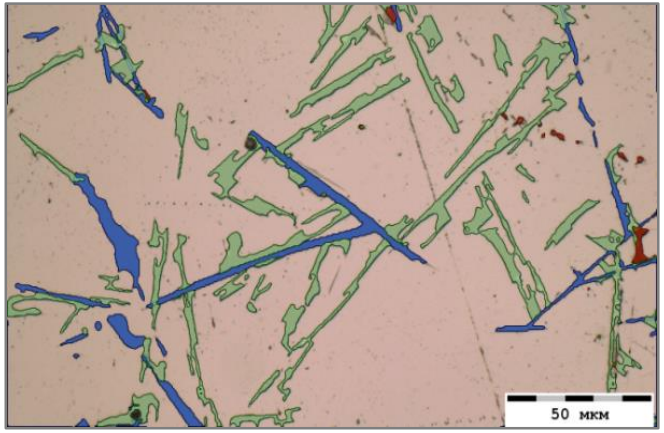
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания с применением нейронной сети.

Размеры частиц:

- Средний размер частиц TiB2 – 1 мкм.
- Максимальный размер частиц TiB2 – 6 мкм.
- Средний размер частиц Al3Ti – 11 мкм.
- Максимальный размер частиц Al3Ti – 84 мкм.

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:





Mg2Si
Si
AlFeSi

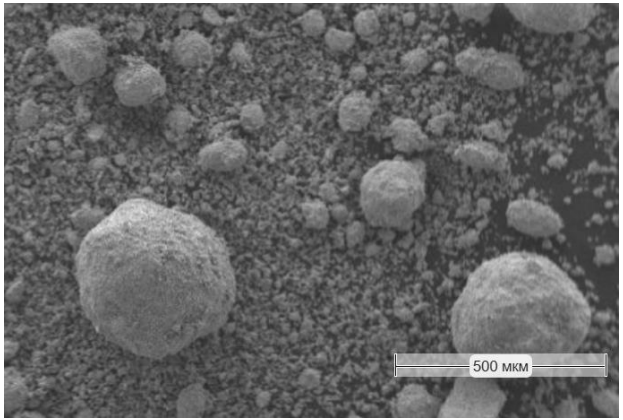
Фазы в отливке сплава АК7:

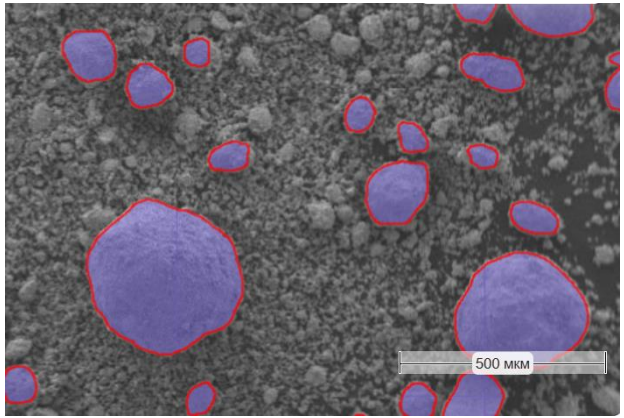
- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания с применением нейронной сети.

Результаты анализа:

- Доля частиц Mg2Si – 0.2%;
- Доля частиц Si – 9.1%;
- Доля частиц AlFeSi- 3.7%;
- Размеры частиц Mg2Si от 0.6 до 10 мкм;
- Размеры частиц Si - толщина от 0.5 до 11 мкм, длина от 2 до 126 мкм;
- Размеры частиц AlFeSi - толщина от 0.5 до 10.5 мкм, длина от 1.5 до 166 мкм.

Результаты работы обученных нейромоделей в программном обеспечении SIAMS:





Анализ порошков, композитов:

- цветным контуром показаны результаты автоматического распознавания с применением нейронной сети.

Результаты анализа:

	Статистические величины				
Параметр	Минимум	Максимум	Среднее	Медиана	СКО
S μm^2	306.79	175408.52	8400.43	3522.82	15894.37
$S_{полн.}$ μm^2	306.79	175467.61	8404.33	3522.82	15909.52
P μm	89.99	1743.00	303.16	231.78	221.76
V μm^3	4042.32	55291612.27	1043553.97	157289.57	4144752.52
$S_{удел.}$ μm^{-1}	0.01	0.31	0.07	0.06	0.04
$D_{экв.кр.}$ μm	19.76	472.67	85.82	66.97	57.82
$D_{экв.сф.}$ μm	19.76	472.67	85.82	66.97	57.82
$S_{экв.сф.}$ μm^2	1227.17	701870.45	33617.31	14091.29	63638.08
F_{min} μm	10.71	468.38	75.99	58.83	55.06
F_{max} μm	40.33	533.15	107.14	83.56	72.01

Разработка шкалы типовых форм частиц графита микроструктуры чугунов

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

Сивкова Т.А., ООО «СИАМС»
Иванова В.А., ФГБОУ «Ярославский государственный технический университет»
Панов А.Г., ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Дегтярева Н.Г., ООО «ИЦМ»

КОЛЛЕКТИВ РАЗРАБОТЧИКОВ ООО «СИАМС»

Сивкова Т.А., Губарев С.В., Плещев В.М., Фоминых Т.О.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ФОРМ ГРАФИТА В ЧУГУНАХ

1. Несогласованность по историческим и территориальным причинам национального и зарубежных стандартов на методы определения структуры чугуна в части терминологии и классификации форм частиц графита в чугунах.

2. Например, неопределенность вносят термины-синонимы «чугун с вермикулярным графитом» и «чугун с компактным графитом».

3. Некоторые формы частиц, определяемые в двумерном сечении изделий, встречаются в разных типах чугуна и имеют разное происхождение, но визуально похожи и почти не различимы по критериям формы.

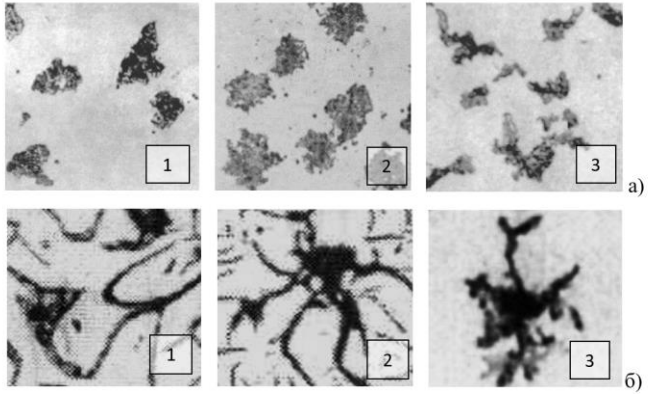
4. В то же время существует необходимость оценки «смешанных» структур и визуального определения доли частиц графита каждой формы.

5. При этом в ГОСТ 3443-87 отсутствует описание особенностей, характеризующих каждую форму.

6. Для оценки микроструктуры с помощью эталонных изображений, содержащихся в стандартах требуется опыт и квалификация специалиста.

7. До начала автоматизированного анализа по графиту с помощью системы анализа изображений специалист должен определить тип чугуна: ЧШГ, ЧВГ, ЧПГ.

8. **Отсутствие единой системы идентификации форм частиц графита и критериев их оценки.**



Фрагменты эталонов ГОСТ 3443-87

а) 1 - ШГф3, 2 - КГф3, 3 - ВГф3, б) 1 - ПГф2; 2 - ПГФ4, 3 - КГф2.

ШКАЛА ЧАСТИЦ ГРАФИТА ТИПОВЫХ ФОРМ ГРАФИТА В ЧУГУНЕ

Таблица. Шкала частиц графита типовых форм графита в чугуне

I Пластинчатая Частицы графита удлиненной формы, плотные, без значительных пустот внутри контура. Могут быть прямолинейными, искривленными, разветвленными и протяженными, имеют преимущественно сглаженный контур и хотя бы один заостренный конец.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ПГф1 Прямолинейная ГОСТ 3443-87 Форма ПГф2 Завихренная ISO 945-1:2019 Форма I Lamellar (flake) graphite ASTM A247-19 Форма VII, Lamellar (flake) graphite
II Крабовидная Частицы графита крабовидной формы, плотные, без значительных пустот внутри контура, с несколькими (три и более) в основном заостренными ветвями, исходящими от общего центра или от центральной оси.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ПГф4 Гнездообразная ГОСТ 3443-87 Форма КГф2 Хлопьевидная ISO 945-1:2019 Форма II Crab graphite ASTM A247-19 Форма V Spiky graphit
III Вермикулярная Частицы графита удлиненной, овальной и искривленной формы, плотные, без значительных пустот внутри контура, могут быть разветвленными и протяженными, имеют преимущественно извилистый шероховатый контур и округлые концы.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ВГф2 Извилистая ISO 945-1:2019 Форма III Compacted (vermicular) graphite ASTM A247-19 Форма IV Compacted (vermicular) graphite

Таблица. Шкала типовых форм частиц графита в чугуне. Продолжение

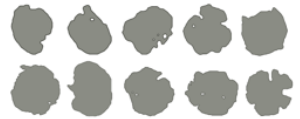
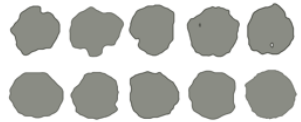
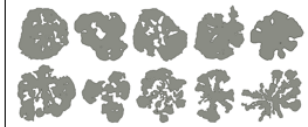
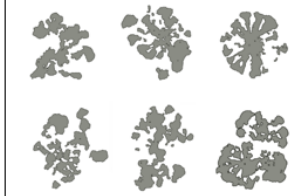
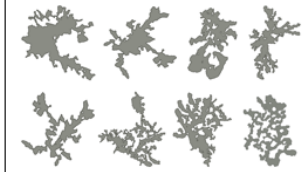
IV Промежуточная Компактные частицы графита неправильных форм от сглаженных до разветвленных.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ШГф3 Компактная ГОСТ 3443-87 Форма ВГф1 Узелковая ГОСТ 3443-87 Форма ВГф3 Утолщенная ГОСТ 3443-87 Форма КГф3 Компактная ASTM A247-19 Форма III Irregular spheroidal graphite
V Шаровидная неправильная Частицы графита неправильной формы, плотные, без значительных пустот внутри контура, имеющие округлый контур, но не полностью заполняющие круг по периметру.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ШГф4 Неправильная ASTM A247-19 Форма II Slightly irregular nodules graphite
VI Шаровидная правильная Частицы графита округлой формы, плотные, без значительных пустот внутри контура, с периметром, близким к длине окружности.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ШГф5 Правильная ISO 945-1:2019 Форма VI Spheroidal graphite ASTM A247-19 Форма I Nodular graphite

Таблица. Шкала типовых форм частиц графита в чугуне. Продолжение

VII Шаровидная недостроенная Неплотные частицы графита, частично заполняющие сектора круга, с пустотами внутри округлого контура.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ШГф2 Звездообразная ISO 945-1:2019 Форма V Slightly irregular spheroidal graphitea isolated particles ASTM A247-19 Форма VI Exploded nodule graphite
VIII Разорванная Скопления близко расположенных отдельных частиц графита неправильной формы, вероятно представляющих собой проекцию единой разветвленной в пространстве колонии графита в виде коралла с округлым контуром в сечении.	
	ГОСТ 3443-87 Форма ШГф1 Разорванная ISO 945-1:2019 Форма IV Temper carbon Irregular spheroidal graphite
IX Хлопьевидная Неплотные частицы графита сильно разветвленной формы.	
	ГОСТ 3443-87 Форма КГф1 Нитевидная

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

- Разработана шкала, содержащая девять типовых форм графита в чугуне с текстовым описанием их характерных особенностей. Сквозная нумерация форм не привязана к типу или маркам чугуна. Каждая типовая форма включает примеры характерных для нее частиц графита и описана математической моделью.

- На основе данной шкалы и полученных математических моделей на платформе ПО SIAMS разработан алгоритм автоматизированного количественного анализа микроструктуры чугуна по графиту, распределяющего множество частиц графита по типовым формам.

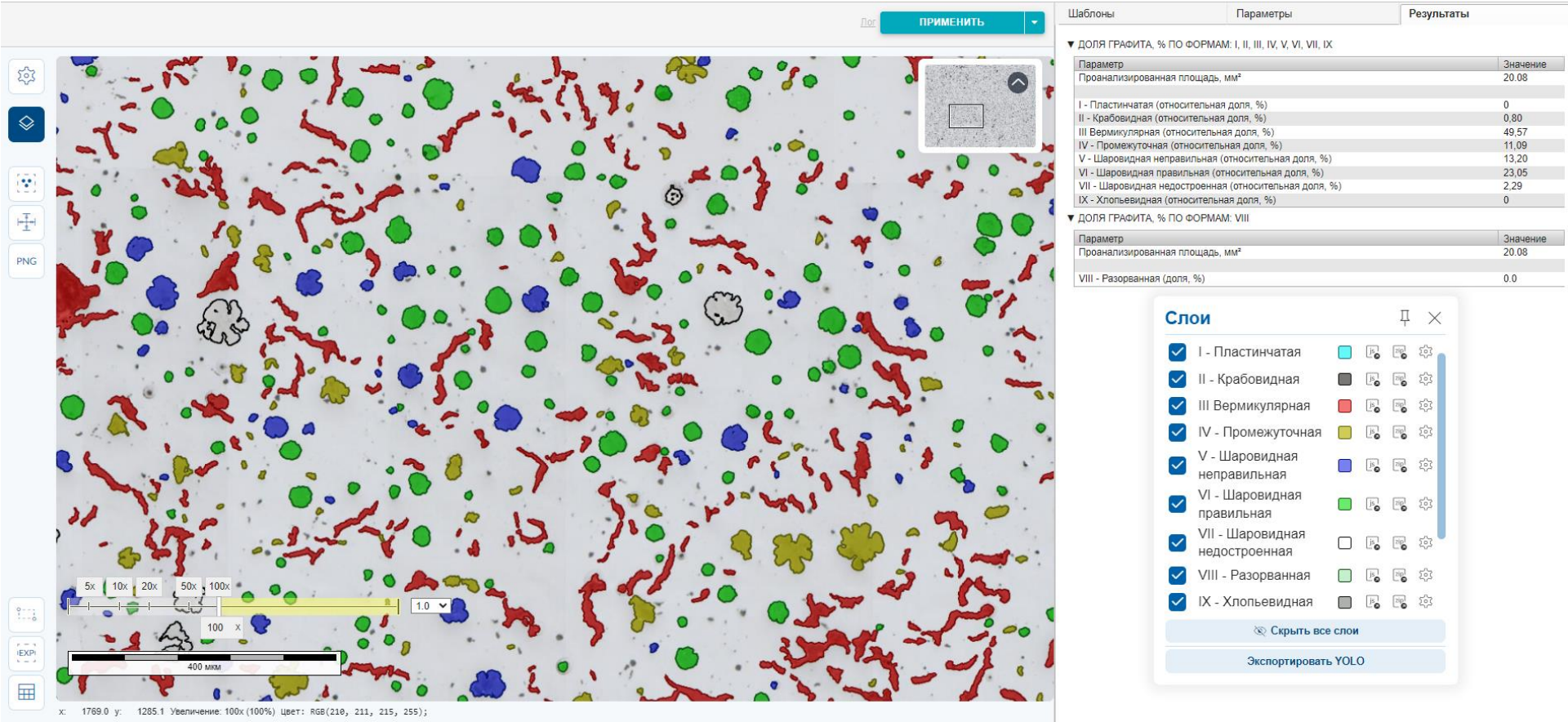
- Автоматизированная методика классификации частиц графита позволяет:

  - Идентифицировать графит в любом чугуне по единым критериям формы.

  - Исключить неопределенность при идентификации визуально похожих частиц графита, встречающихся в разных марках чугунов.

  - Унифицировать процедуру оценки микроструктуры чугуна по графиту и повысить объективность результатов.

ПРИМЕР РАБОТЫ АЛГОРИТМА SIAMS



Параметр	Значение
Проанализированная площадь, мм²	20.08
I - Пластинчатая (относительная доля, %)	0
II - Крабовидная (относительная доля, %)	0,80
III Вермикулярная (относительная доля, %)	49,57
IV - Промежуточная (относительная доля, %)	11,09
V - Шаровидная неправильная (относительная доля, %)	13,20
VI - Шаровидная правильная (относительная доля, %)	23,05
VII - Шаровидная недостроенная (относительная доля, %)	2,29
IX - Хлопьевидная (относительная доля, %)	0

▼ ДОЛЯ ГРАФИТА, % ПО ФОРМАМ: VIII

Параметр	Значение
Проанализированная площадь, мм²	20.08
VIII - Разорванная (доля, %)	0.0

Разработка шкалы оценки степени шаровидности графита в чугунах

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

Сивкова Т.А., ООО «СИАМС»
Панов А.Г., ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Дегтярева Н.Г., ООО «ИЦМ»

КОЛЛЕКТИВ РАЗРАБОТЧИКОВ ООО «СИАМС»

Сивкова Т.А., Губарев С.В., Плещев В.М., Фоминых Т.О.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ:

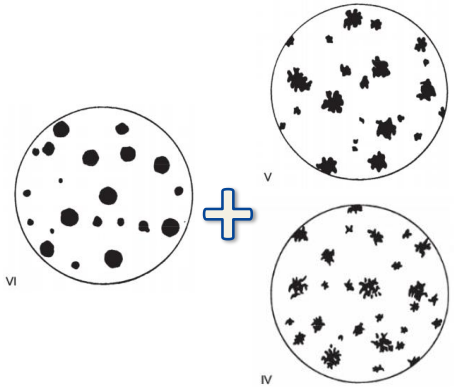
- В отсутствие метода оценки степени шаровидности графита в чугунах производственные лаборатории учитывают относительную долю шаровидного графита либо используют зарубежные стандарты.

- Методы оценки степени шаровидности графита, описанные в зарубежных стандартах, предназначены для разных типов чугуна, отличаются диапазонами значений степени шаровидности и способом ее расчета.

- Какие частицы необходимо относить к шаровидному графиту?

РАСЧЕТ СТЕПЕНИ ШАРОВИДНОСТИ (nodularity) ГРАФИТА В ЧУГУНАХ
Обзор требований стандартов ISO 16112-2017, ISO 945-4-2019, A247-19, ASTM E2567-13

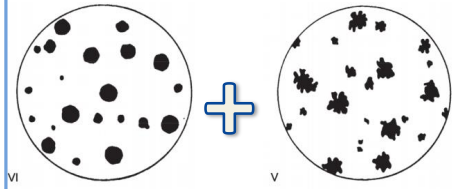
ISO 16112-2017 для ЧВГ в диапазоне 0 – 20 %



$$\rho = A / A_m \quad \begin{array}{l} >0{,}625 \text{ to } 1 \\ 0{,}525 \text{ to } 0{,}625 \end{array}$$

$$\text{Percent nodularity} = \frac{\sum A_{\text{nodules}} + 0{,}5 \times \sum A_{\text{intermediates}}}{\sum A_{\text{all particles}}} \times 100$$

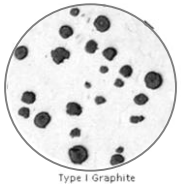
ISO 945-4-2019 для ЧШГ в диапазоне 50 – 100%



$$\rho = A / A_m \quad \geq 0{,}6 \text{ to } 1{,}0$$

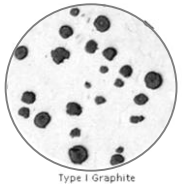
$$p_{\text{nod}} = \frac{A_{\text{VI}} + A_{\text{V}}}{A_{\text{all}}}$$

ASTM A247-19 для любого типа чугуна в диапазоне 0 – 100%



Nodularity is expressed by counting the nodular particles and reporting the results as a percentage of the total amount of graphite present in the microstructure.

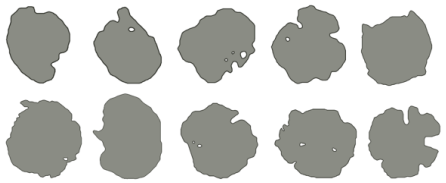
ASTM E2567-13 для любого типа чугуна в диапазоне 0 – 100%



$$\rho = A / A_m \quad \geq 0{,}6 \text{ to } 1{,}0$$

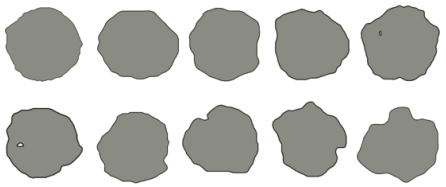
% Nodularity by area = 100 (Area of all particles above acceptance criteria)/(Area of all graphite particles which meet the minimum size requirement)

Шаровидный графит в соответствии со «ШКАЛОЙ ЧАСТИЦ ГРАФИТА ТИПОВЫХ ФОРМ ГРАФИТА В ЧУГУНЕ»



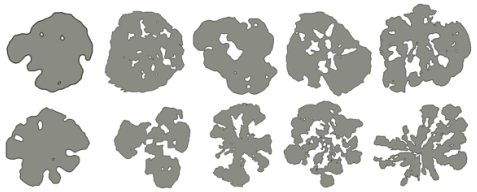
V Шаровидная неправильная

Частицы графита неправильной формы, плотные, без значительных пустот внутри контура, имеющие округлый контур, но не полностью заполняющие круг по периметру.



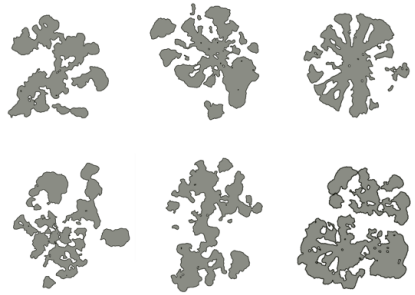
VI Шаровидная правильная

Частицы графита округлой формы, плотные, без значительных пустот внутри контура, с периметром, близким к длине окружности.



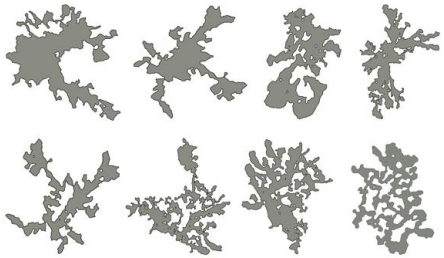
VII Шаровидная недостроенная

Неплотные частицы графита, частично заполняющие сектора круга, с пустотами внутри округлого контура.



VIII Шаровидная разорванная

Скопления близко расположенных отдельных частиц графита неправильной формы, вероятно представляющих собой проекцию единой разветвленной в пространстве колонии графита в виде коралла с округлым контуром в сечении.



IX Хлопьевидная

Неплотные частицы графита сильно разветвленной формы.

- Для расчета степени шаровидности графита в чугуне за шаровидный графит принята суммарная площадь форм:

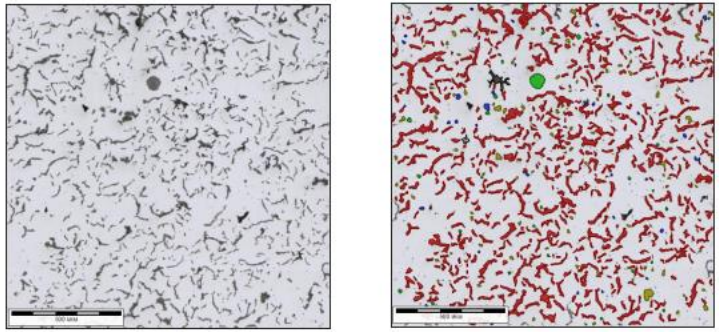
$$\sum \text{S форм } V, VI, VII, VIII, IX$$

УСЛОВИЯ РАСЧЕТА:

- Степень шаровидности графита рассчитывалась по формуле: $\text{СШГ} = \frac{\sum S\ \text{Формы}\ V,\ VI,\ VII,\ VIII,\ IX + 0{,}5 \times \sum \text{S Форма}\ IV}{\sum \text{S Формы}\ I,\ II,\ III,\ IV,\ V,\ VI,\ VII,\ VIII,\ IX}$; где:
  - I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX - номера типовых форм частиц графита в соответствии с алгоритмом SIAMS;
  - S – площадь частиц, мкм2;
  - 0,5 – коэффициент, учитывающий вероятность того, что частицы промежуточной формы представляют собой поперечные сечения частиц форм I, II, III.
- В расчете учитываются частицы размером более 10 мкм. За размер частицы принимается максимальная проекция.
- Применяемое оптическое увеличение – 100 крат.
- Анализируемая площадь – 2 кв.мм.
- 1 пиксел = 1 мкм.
- Совокупность условий съемки микрошлифа, условий анализа изображений, последовательность применения параметров функций представляет собой МЕТОДИКУ, применение которой позволило разработать шкалу из 10-ти типичных изображений микроструктуры чугунов, характеризующих степень шаровидности графита.
- Изображения являются оцифрованными фрагментами микроструктуры рабочих проб и представляют собой выборку из типичных полей для каждого диапазона степени шаровидности графита.
- Каждое изображение приведено в исходном виде и с цветной маской частиц, обозначающей типовую форму.

ШКАЛА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ШАРОВИДНОСТИ ГРАФИТА В СТРУКТУРЕ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ И ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

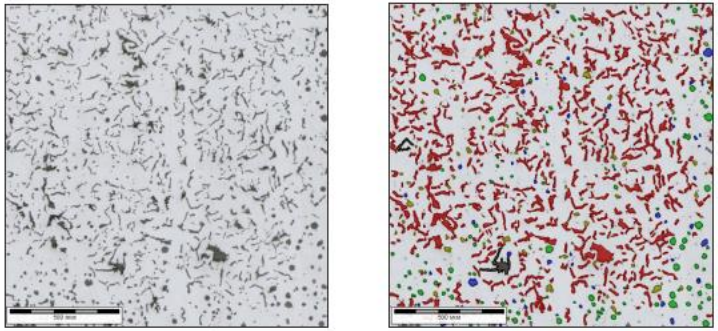
Степень шаровидности графита 0-10%



Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
7	5	-

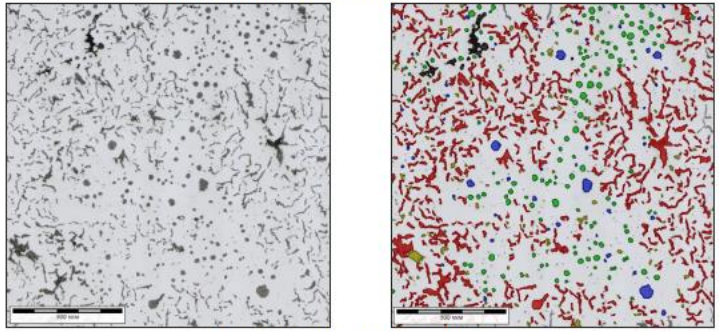
Степень шаровидности графита 10-20%



Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
17	14	-

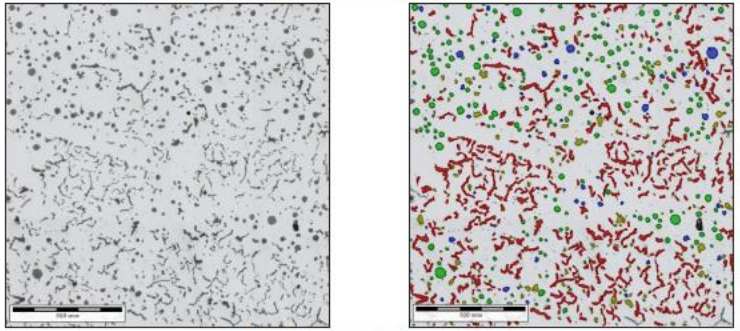
Степень шаровидности графита 20-30%



Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
24	-	-

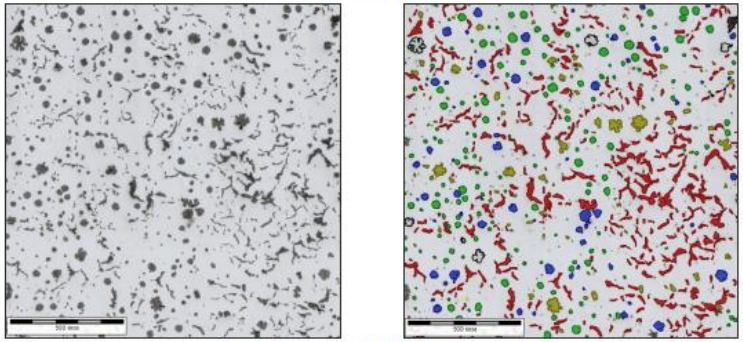
Степень шаровидности графита 30-40%



Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
37	-	-

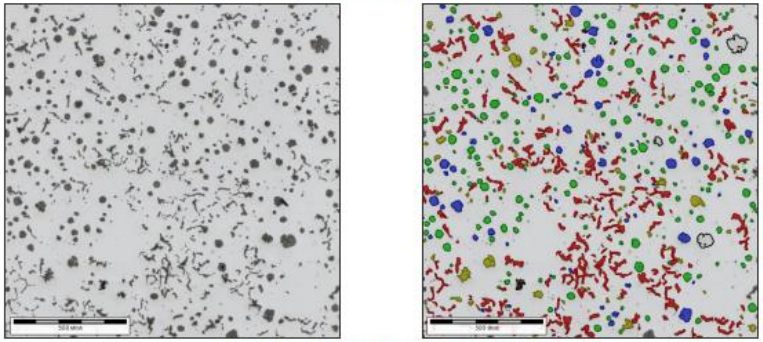
Степень шаровидности графита 40-50%



Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
46	-	-

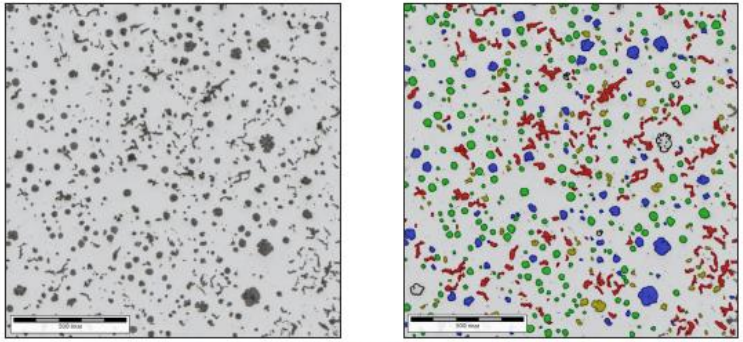
Степень шаровидности графита 50-60%



Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
54	-	-

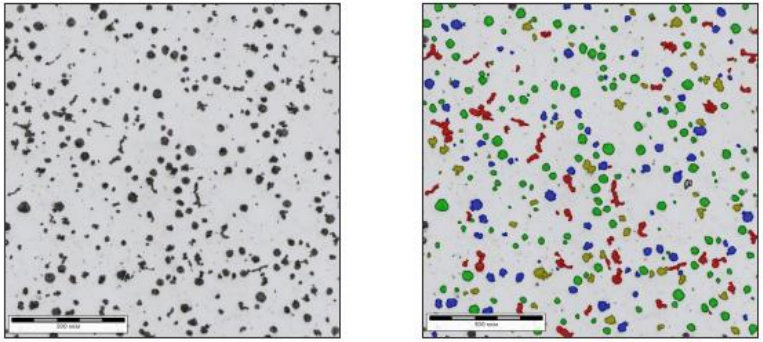
Степень шаровидности графита 60-70%



Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
65	-	59

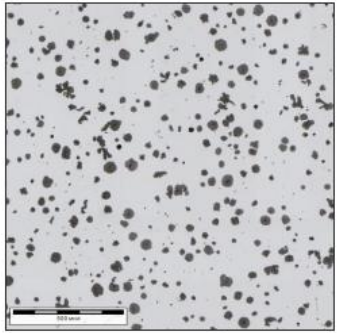
Степень шаровидности графита 70-80%

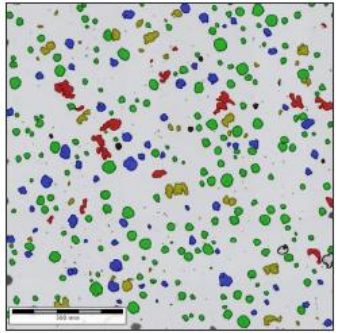


Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
73	-	65

Степень шаровидности графита 80-90%

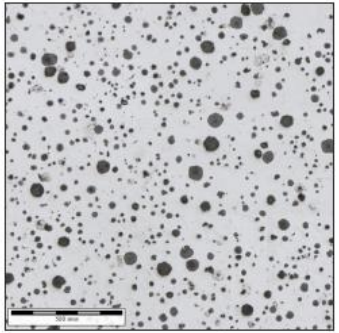


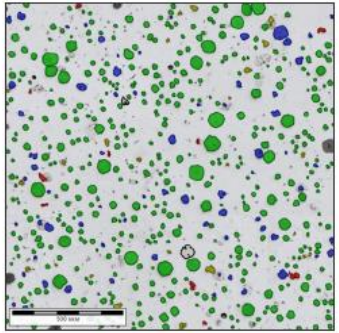


Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
83	-	76

Степень шаровидности графита 90-100%





Сравнительные результаты по методам

Методика SIAMS	ISO 16112-2017	ISO 945-4-2019
97	-	94

Обозначение форм частиц графита

- I – Пластинчатая
- II – Карбовидная
- III – Вермикулярная
- IV – Промежуточная
- V – Шаровидная неправильная
- VI – Шаровидная правильная
- VII – Шаровидная недостроенная
- VIII – Разорванная
- IX – Хлопьевидная

- Шкала предназначена для полуколичественного анализа микроструктуры чугуна.
- Шкала разработана на основе автоматического алгоритма SIAMS, ООО «СИАМС». Образцы металла предоставлены ООО «Исследовательский центр Модификатор».
- Степень шаровидности графита в диапазоне 0-100% с шагом 10% вычислена по формуле:

$$\text{СШГ} = \frac{\sum S\ \text{Формы V, VI, VII, VIII, IX} + 0{,}5 \times \sum S\ \text{Форма IV}}{\sum S\ \text{Формы I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX}},$$

где I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX – номера типовых форм частиц графита в соответствии с алгоритмом SIAMS;
S – площадь частиц, мкм^2;
0,5 – коэффициент, учитывающий вероятность того, что частицы промежуточной формы представляют собой поперечные сечения частиц форм I, II, III.

- В расчете учтены частицы размером более 10 мкм. За размер частицы принята максимальная проекция.
- Увеличение изображений 100x. Площадь каждого изображения составляет 2 мм^2. 1 пиксел = 1 мкм.

ПО SIAMS
Контроль микроструктуры на профессиональном уровне

ООО «СИАМС»
г. Екатеринбург, ул. Коминтерна 16, оф. 604
тел./факс (343) 379-00-34 (35,36)

Отдел продаж и маркетинга
E-mail: info@siams.com
Тел/факс: +7 (343) 379-00-34 (35,36)

Сайт: siams.com