Электронный журнал «Техническая акустика»
http://www.ejta.org

2012, 1

В. Н. Хмелев, С. Н. Цыганок, С. В. Змановский, С. С. Хмелев

Бийский технологический институт ФГБОУ ВПО АлтГТУ,
г. Бийск, 659305, Трофимова, 27, e-mail: vnh@bti.secna.ru

Ультразвуковой аппарат для повышения эффективности распыления жидких металлов

Получена 28.12.2011, опубликована 18.01.2012

Статья посвящена созданию специализированного ультразвукового аппарата, комплектуемого колебательной системой для наложения механических колебаний на распылительную форсунку в процессе распыления жидкого металла. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности ультразвукового воздействия для увеличения количества мелкодисперсной фракции алюминиевого порошка.

Ключевые слова: ультразвук, распыление металлов, порошковая металлургия, ультразвуковая колебательная система.

ВВЕДЕНИЕ

Мелкодисперсные металлические порошки с размером частиц 0,1–100 мкм находят широкое применение в качестве красящих и защитных пигментов в составе красок и эмалей, эффективных высокоэнергетических добавок, наполнителей при производстве пластиков и высокоплотных огнеупорных материалов.

Для получения гранулированных порошков из металла применяются несколько способов: измельчение твердых материалов, измельчение жидких металлов, химико-металлургический метод, электролиз, карбонильный процесс, распыление жидких расплавов металлов [1].

Наиболее широко распространенным является способ получения мелкодисперсного порошка алюминия путем распыления расплава (жидкого металла) сжатым воздухом через корпус распылительной форсунки [2].

При этом задача снижения дисперсности получаемого порошка всегда является актуальной, что обуславливает необходимость в проведении исследований, направленных на модернизацию существующего оборудования — используемой на производстве распылительной форсунки.

Поскольку известно, что ультразвуковое воздействие при диспергировании жидких металлов позволяет получать мелкодисперсные и однородные по составу порошки [3], были рассмотрены различные варианты подведения ультразвуковой энергии к жидкому диспергируемому металлу.

1. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВОВ МЕТАЛЛОВ

Поскольку создание специальной ультразвуковой форсунки для распыления расплава металла требует изменения существующей производственной технологии, было предложено реализовать наложение механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности на корпус распылительной форсунки, используемой для распыления расплава металлов сжатым воздухом в производственных условиях. Созданная конструкция колебательной системы показана на рис. 1 и представляет собой пьезоэлектрическую колебательную систему, выполненную по классической схеме преобразователя Ланжевена (четыре пьезоэлектрических элемента между частотно-понижающими накладками) со ступенчато-радиальным концентратором — усилителем ультразвуковых колебаний, соединяемым с распылительной форсункой.

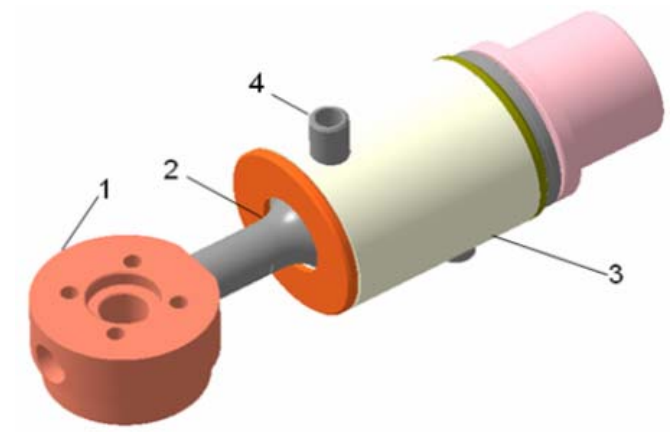

Рис. 1.
Конструкция ультразвуковой колебательной системы

1 – распылительная форсунка;
2 – концентратор ультразвуковых колебаний;
3 – охлаждающий объем;
4 – патрубки для отвода охлаждающей жидкости

Разработанная ультразвуковая колебательная система работает следующим образом. При подведении к электродам пьезоэлементов электрического напряжения в них, за счет обратного пьезоэффекта, возникают механические колебания. За счет частотно-понижающих отражающей и излучающей накладок в электроакустическом преобразователе создаются механические колебания с частотой около 20 кГц и возникает знакопеременная механическая сила. Для увеличения амплитуды колебаний и согласования электроакустического преобразователя с распылительной форсункой и распыляемым металлом применяется резонансный трансформатор скорости — ступенчато-радиальный концентратор, рассчитанный на резонансную частоту электроакустического преобразователя. Далее механические колебания передаются на корпус распылительной форсунки. Через ее боковые отверстия поступает расплав металла с транспортным агентом — горячим воздухом.

Поскольку температура расплава алюминия превышает 900ºС, а рабочая температура пьезоэлектрического преобразователя не должна превышать 150…170ºС, то отличительной особенностью предложенной конструкции колебательной системы является использование проточного объема для охлаждения ультразвуковой колебательной системы в процессе эксплуатации.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Для проверки возможности использования созданной ультразвуковой колебательной системы в производственных условиях были проведены исследования тепловых режимов ее работы. Повышение температуры распылительной форсунки выше 550ºС обеспечить в лабораторных условиях не представлялось возможным, а температура расплава металла не менее 900ºС. Поэтому экспериментальные исследования (нагрев и измерение температуры с помощью термопары в характерных точках колебательной системы) были дополнены результатами моделирования методом конечных элементов [4, 5].

Моделирование производилось следующим образом:

– по заданному значению температуры рассчитывалось количество теплоты, подводимое к распылительной форсунке;

– указывалось принудительное охлаждение части концентратора и преобразователя, находящиеся в объеме, посредством конвекции (жидкостное охлаждение);

– указывалось принудительное охлаждение пьезоэлектрических элементов посредством конвекции (воздушное охлаждение).

Сравнительные результаты измерений вдоль осевой линии ультразвуковой колебательной системы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сводные результаты моделирования и эксперимента

	Температура концентратора, °С	Температура распылительной форсунки, °С	Температура объема, °С
Эксперимент	32	550	15
Модель	30	547	15

Полученные результаты свидетельствуют об адекватности полученных данных. Таким образом, с помощью моделирования методом конечных элементов можно исследовать распределение температуры при нагреве распылительной форсунки до различных температур.

На рис. 2 приведены результаты моделирования распределения температуры при нагреве распылительной форсунки до рабочих (900-1000°С) и предельных для распыления металлов (до 2700 °С) температур. По цветовой шкале определялось численное значение температуры в исследуемой точке. Наибольший интерес представляла температура на радиальном переходе концентратора ультразвуковой колебательной системе — в зоне крепления проточного охлаждающего объема. Значение температуры на рис. 2 отмечено выносками.

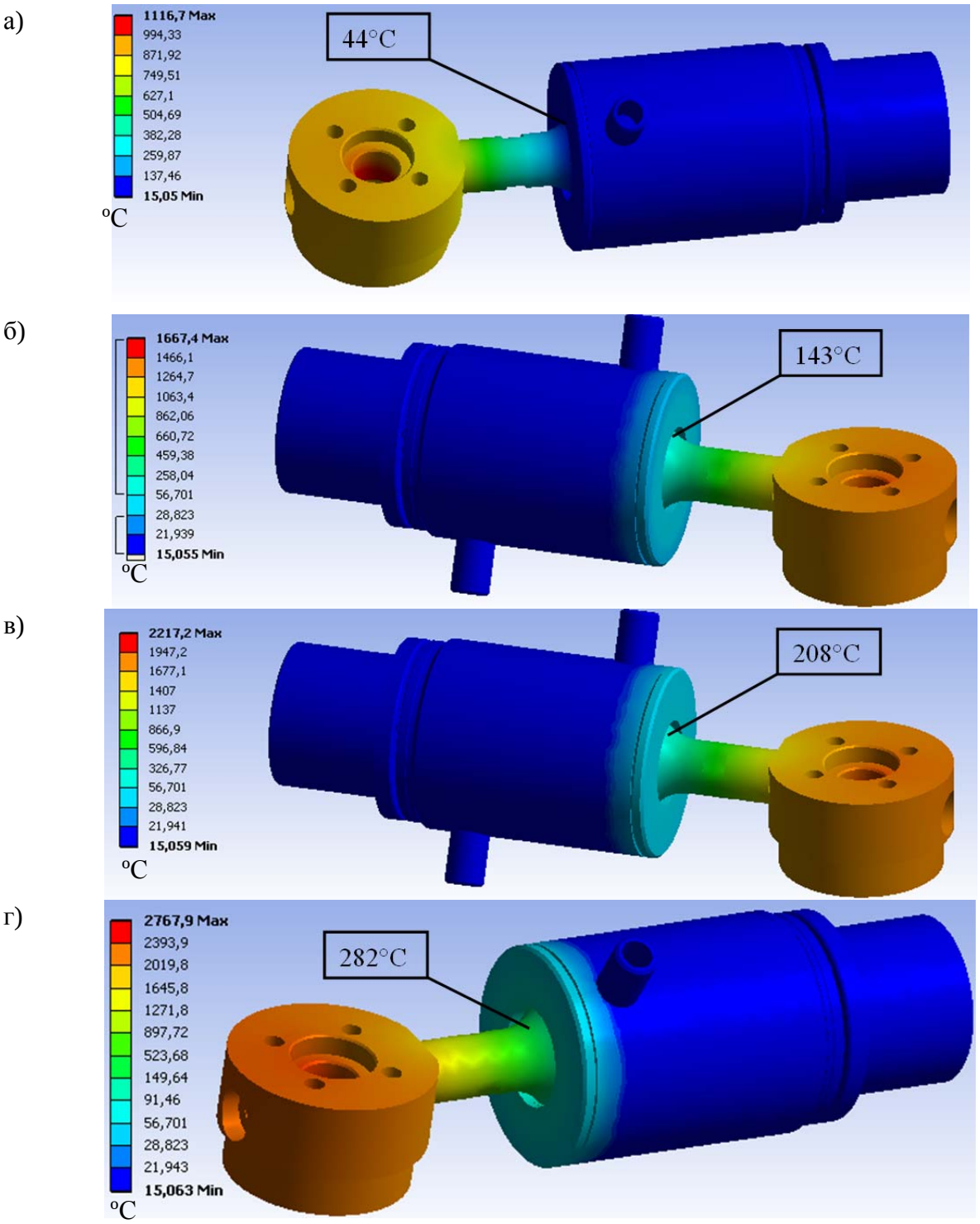

Рис. 2. Распределение температур при нагреве распылительной форсунки до различных температур: а – 1100°С, б – 1600°С, в – 2200°С, г – 2700°С

Проток жидкости в охлаждающем объеме компенсирует нагрев распылительной форсунки (температура пьезоэлектрического преобразователя не превышала 15-16°С). Таким образом, применение проточного объема для охлаждения не позволяет нагреваться пьезоэлектрическому преобразователю выше его рабочих температур при нагреве распылительной форсунки до 2700°С.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для проведения экспериментальных исследований был разработан ультразвуковой аппарат, состоящий из ультразвуковой колебательной системы и электронного генератора для ее питания. Внешний вид разработанного ультразвукового технологического аппарата модели УЗТА-1/22-О показан на рис. 3, основные технические характеристики приведены в таблице 2.

Рис. 3. Ультразвуковое оборудование для обработки расплавов металлов

Таблица 2. Технические характеристики

Мощность, ВА	1000
Питание от сети переменного тока напряжением, В	220±22
Амплитуда колебаний рабочего окончания колебательной системы, не менее, мкм	10
Время непрерывной работы, ч	8
Габаритные размеры: электронный генератор, мм	270×400×110
колебательная система, мм	⌀90×300
Максимальная температура среды, °С, не более	1000
Рабочая частота, кГц	22

Для исследования эффективности разработанного ультразвукового оборудования были проведены его испытания при реализации процесса производства порошка алюминия на ООО «СУАЛ-ПМ» (г. Шелехов, Иркутская область). Ультразвуковая колебательная система размещалась непосредственно на корпусе форсунки печи пульверизации, как показано на рис. 4.

Температура расплава алюминия составляла около 900ºС, температура охлаждающей жидкости с выходного патрубка не превышала 20ºС, температура корпуса пьезоэлектрического преобразователя ультразвуковой колебательной не превысила 45ºС.

Рис. 4. Печь пульверизации с установленной ультразвуковой колебательной системой

Измерение размеров частиц получаемого порошка алюминия осуществлялось при помощи лазерного анализатора размеров частиц [6]. Результаты сравнительных экспериментальных данных, отражающие изменение количества получаемого продукта на различных стадиях отбора материала представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований

Место отбора проб	Полученный продукт, показатели											
	Ед. изм.	Без ультразвука					С применение УЗТА-1/22-0					
		Выход, %	Выход по фракциям, %				Выход, %	Выход по фракциям, %			
			5 µm, %	10 µm, %	d_{10}, µm	d_{50}, µm		5 µm, %	10 µm, %	d_{10}, µm	d_{50}, µm
Пульверизат	%	87,9	5,8	18,8	6,8	21,3	82,0	8,2	26,2	5,6	16,5
Циклон 1	%	8,4	14,5	49,8	4,0	10,1	12,0	14,3	51,4	4,4	9,8
Циклон 2	%	1,6	32,4	81,4	2,8	6,4	2,0	39,2	84,9	2,8	5,9
Рук. фильтр	%	2,1	86,4	99,7	0,1	2,6	4,0	85,2	99,9	1,5	3,0
S уд	$м^2/г$	0,214					0,235				

Из анализа приведенных данных следует, что удельная поверхность продукта, полученного с применением ультразвукового технологического аппарата УЗТА-1/22-О, несколько выше, чем без ультразвукового воздействия. Гранулометрический состав, определенный методом лазерной дифракции составил:

– при ультразвуковом воздействии: d_{10}= 5,6 мкм, d_{50}= 16,5 мкм;

– без ультразвукового воздействия: d_{10}= 6,8 мкм, d_{50}= 21,3 мкм.

Продукты, полученные в циклонах и рукавных фильтрах пульверизационной установки, работающей в штатном режиме и с применением ультразвукового воздействия, имеют практически одинаковый гранулированный состав (рис. 5-8). Различия наблюдаются только в выходе продуктов. Особенно значительна эта разница по продуктам рукавных фильтров, где выход материала (в случае применения ультразвукового воздействия) с удельной поверхностью более 0.6 м^2/г почти в 2 раза выше.

На рис. 9 и 10 представлены диаграммы, иллюстрирующие содержание фракций соответственно 5 мкм и 10 мкм в продукции, полученной на пульверизационной установке во время эксперимента.

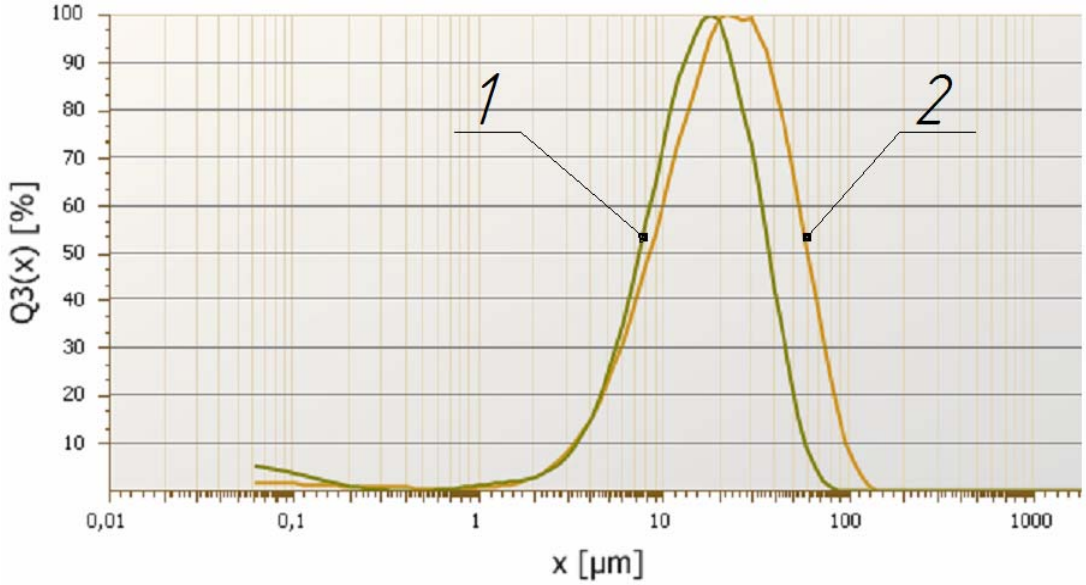

Рис. 5. Гранулометрическая характеристика пульверизата, полученного с применением УЗТА (график 1) и без УЗТА (график 2)

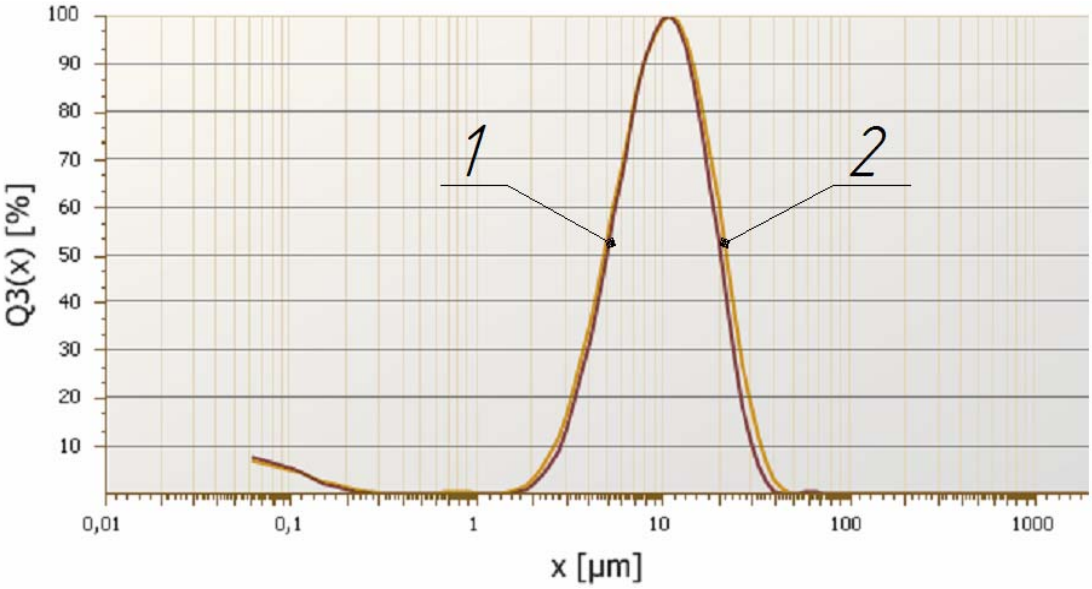

Рис. 6. Гранулометрическая характеристика продукта из циклона №1, полученного с применением УЗТА (график 1) и без УЗТА (график 2)

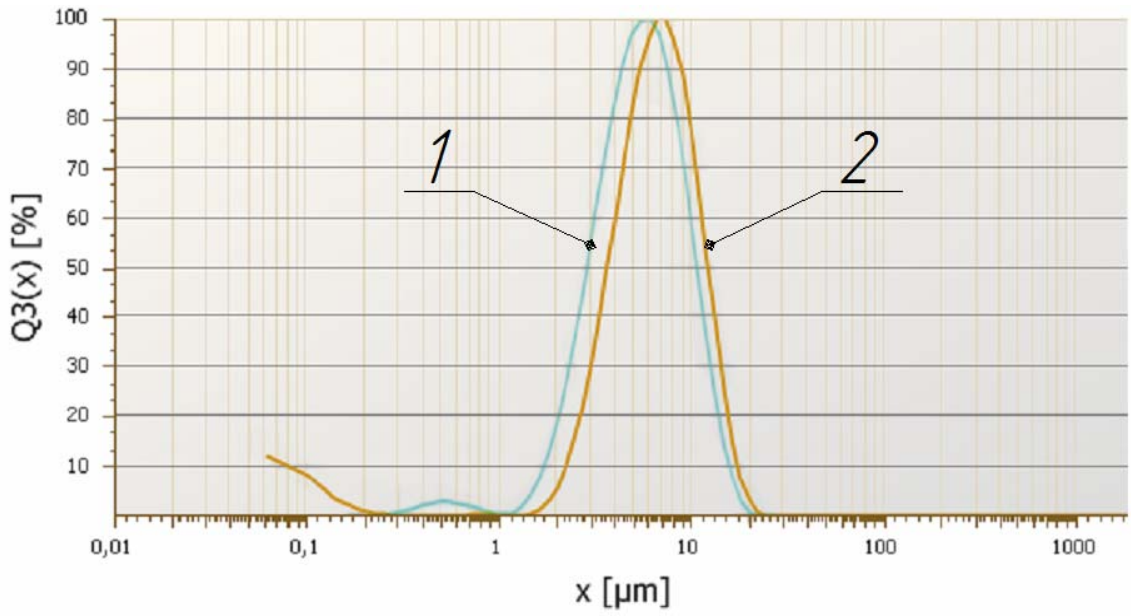

Рис. 7. Гранулометрическая характеристика продукта из циклона №2, полученного с применением УЗТА (график 1) и без УЗТА (график 2)

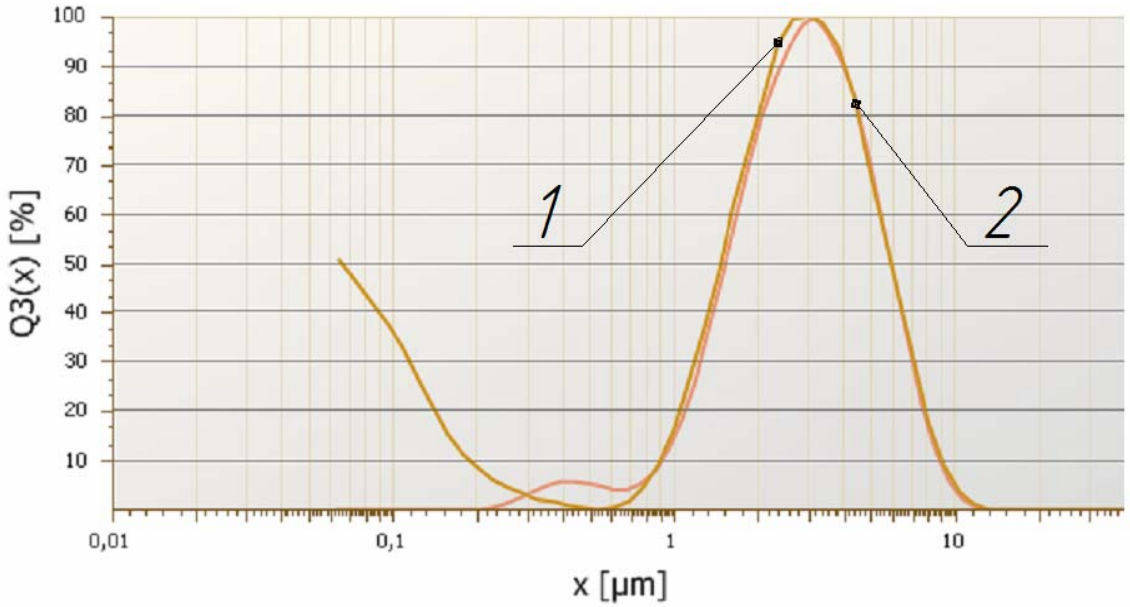

Рис.8. Гранулометрическая характеристика продукта рукавных фильтров, полученного с применением УЗТА (график 1) и без УЗТА (график 2)

Суммарный выход мелкодисперсной фракции (в процентах, от переработанного металла) с применением ультразвукового воздействия при распылении увеличился на: 4% для фракции до 5 мкм; 9% для фракции до 10 мкм.

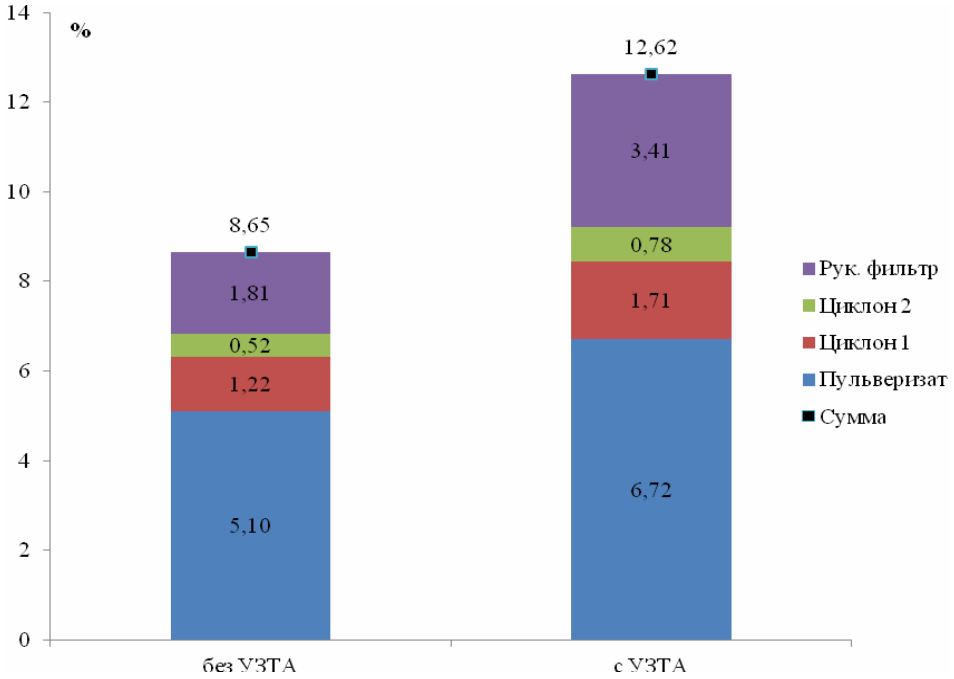

Рис. 9. Выпуск фракции диаметром менее 5 мкм в процентах от перерабатываемого металла

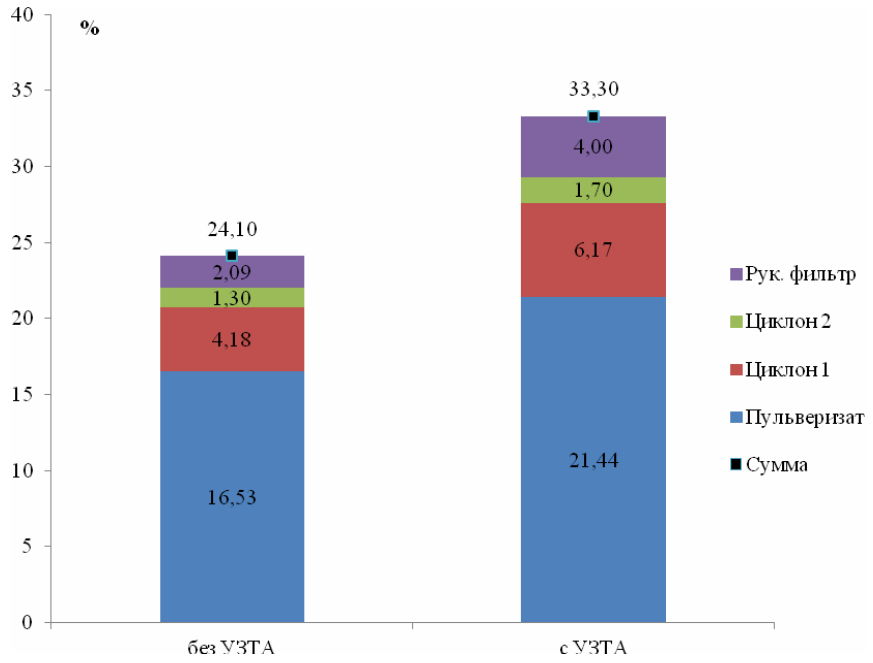

Рис. 10. Выпуск фракции диаметром менее 10 мкм в процентах от перерабатываемого металла

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты разработки и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Ультразвуковое воздействие на корпус распылительной форсунки при использовании технологического аппарата УЗТА-1/22-0 оказывает положительное влияние на гранулометрический состав получаемого мелкодисперсного алюминия.

2. Увеличение содержания мелкодисперсной фракции получаемого материала при применении ультразвукового аппарата УЗТА-1/22-0 позволит увеличить выход фракции с размером частиц до 5 мкм с 8,65 до 12,62 процентов, а частиц с размером до 10 мкм с 24,1 до 33,3 процентов от перерабатываемого металла.

3. Применение ультразвукового аппарата УЗТА-1/22-0 при годовом объеме 5000 т позволит дополнительно получить до 200 т мелкодисперсного пульверизата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трефилов В. И, Францевич И. Н. Порошковая металлургия. История. Современное состояние. Перспективы. – М.: 2006. – 255 с.
2. Кукса А. В., Мольков А. В., Кононов М. П., Губанов А. В., Линьков С. В. Форсунка для распыления расплавленных металлов. Пат. 2283728 Рос. Федерация: МПК5 B22F 9/08, опубликовано: 20.09.2006.
3. ООО «Центр ультразвуковых технологий» / Ультразвуковое распыление металлов и сплавов. Режим доступа: http://u-sonic.com/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti/39-ultrazvukovoe-raspylenie-metallov-i-splavov
4. Балабаев С. М., Ивина Н. Ф. Метод граничных элементов для пьезоэлектрических элементов. – Акустический журнал, 1996. – Т. 42. – №2. – С. 172-178.
5. Цыганок С. Н., Хмелев В. Н., Лебедев А. Н. Автоматизированное проектирование ультразвуковых колебательных систем // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». Выпуск 1. – Тула: ТулГУ, 2003. – С.14-18.
6. Размер и свойства частиц / Лазерная дифракция. Analysette-22 MicroTec Plus / Аналитическое оборудование. Режим доступа: http://labtest.su/equipment/list-particle-sizing/folder-laser-diffraction/goods-microtec-plus-fritsch-ana.html