

нуючим функціям для аналізу. Побудова системи оцінки якості навчання студентів на основі Data mining Oracle дозволяє адаптуватися до різних вхідних даних, критеріїв оцінки.

**Список літератури:** 1. Берестнева О.Г., Марухина О.В. Методы многомерного анализа данных в задачах оценки качества образования // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2002. – № 1. – С. 15-26. 2. Минин М.Г. Диагностика качества знаний и компьютерные технологии обучения. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2000. – 216 с. 3. Марухина О.В., Берестнева О.Г. Системный подход к оценке качества образования // Стандарты и качество. – 2002. – № 4. 4. Вроейнштейн А.И. Оценка качества высшего образования. – М., 2000. 5. Найнши Л.А., Горбунова В.С., Тишина Е.М., Филиппова Н.А. Многомерная конструкция – математическая модель учебного процесса // Профессиональная подготовка учителя: История, теория, практика: Труды Всерос. науч-практ. конф. – Пенза: ПГПУ, 2006. – С. 293–298. 6. Марухина О.В. Алгоритмы обработки информации в задачах оценивания качества обучения студентов вуза на основе экспертно-статистических методов: Дис. канд. техн. наук: 05.13.01. – Томск, 2003. – 165 с. 7. Берестнева О.Г., Марухина О.В. Компьютерные технологии в оценке качества обучения. – 111 с. 8. Вроейнштейн А.И. Оценка качества высшего образования. – М., 2000. 9. Подласый И.П. Педагогика: Учебник для вуза. – М.: Гуманит. изд. центр «ВЛАДОС», 2001. Кн. 1. – 576 с. 10. Методика оцінювання – <http://tqm.stankin.ru/arch/n02/articles/10.htm>.

*Надійшла до редколегії 30.10.2009*

УДК 621.746.044.4.001.57

**И.В.БУРАВИЛОВ**, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**Д.В.ВИННИКОВ**, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**В.Б.ЮФЕРОВ**, докт.техн.наук, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**Б.В.БОРЦ**, канд.техн.наук, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**А.Ф.ВАНЖА**, канд.техн.наук, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**А.Н.ПОНОМАРЕВ**, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**А.Н.ОЗЕРОВ**, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**Е.В.МУФЕЛЬ**, ННЦ ХФТИ НАНУ;  
**Г.В. ПИСАРЕВ**, ННЦ ХФТИ НАНУ

### **УМЕНЬШЕНИЕ РАЗМЕРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЗЕРНА СЛИТКОВ В ВАКУУМНО-ДУГОВЫХ ПЕЧАХ С ИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

Створена установка вакуумно-дугової плавки з акустичним впливом на розплав. Проведені акустичні виміри під час роботи допоміжного обладнання, та пневмовібратора. Оцінені основні параметри системи, та запропонована модель поведінки рідкої фази під час впливу. Розмір кристалічного зерна, отриманий під час акустичного впливу зменшився в 2-3 рази.

The vacuum-arc melting plant with acoustic influence on melted metal has been created. The acoustic measurements during additional equipment and pneumovibrator operation has been done. The basic system parameters have been evaluated. The model of liquid phase behavior during action is proposed. The crystalline grain dimension obtained during acoustic influence was reduced by 2 to 3 times.

Достижения современного материаловедения во многом обусловлены углубленным изучением процессов кристаллизации. Накопленные знания свидетельствуют, что для обеспечения наилучших механических свойств металла в

изделиях необходимо создавать заданную макро- и микроструктуру с контролируемым химическим составом. При этом в большинстве случаев важно получить химическую и структурную однородность. Есть ряд способов управления процессом кристаллизации металлов и сплавов, позволяющих получить заданную однородную структуру. Однако, способы, применяющиеся для увеличения однородности металлов и снижения размера кристаллического зерна, связанные с введением искусственных центров кристаллизации не пригодны для чистых металлов ядерной энергетики. Здесь, по-видимому, применимы способы интенсификации процессов кристаллизации на основе электрогидроимпульсной технологии [1, 2, 4], заключающиеся в генерировании и последующем вводе в кристаллизирующийся из расплава материал мощных поличастотных импульсов упругих колебаний на всех стадиях затвердевания – от предкристаллизации до полного перехода в твердую фазу.

В процессе вакуумно-дуговой плавки металлов, метода, широко используемого при производстве металлов для атомной промышленности, в слитках образуются крупнозернистые дендритные структуры с размером зерна около 3-5 мм в радиальном и 10-30 мм и более в осевом направлении. Эти структурные особенности возникают, как при фазовом переходе, жидкость-твердое тело, так и при  $\alpha$ - $\beta$  переходах в твердом теле. Процесс кристаллизации металла является, во многом определяющим качество готового изделия. Многие особенности строения слитка, формирующиеся при его затвердевании, после всех этапов передела переходят в полуфабрикаты и готовые изделия. Для улучшения структурозависимых свойств, в частности прочности, целесообразно уменьшение размеров кристаллического зерна. Поэтому исследование возможности влияния на структуру слитков является важным и актуальным. Высокоэффективный способ интенсификации процессов кристаллизации путем введения в кристаллизатор мощных акустических импульсов является крайне необходимым при производстве материалов для атомной промышленности [3].

Мощные упругие колебания и низкочастотная общая вибрация, генерируемые электровзрывом, благоприятно изменяют потоки так, что они эффективно разрушают ликвационный слой и систему направленного осаждения кристаллов. Этот механизм способствует и более равномерному распределению примесей.

В процессе создания ВДП с акустическим воздействием были рассмотрены гипотетические параметры акустических генераторов. Энергия воздействия  $Q = f q$ , является произведением частоты импульсов  $f$  на их удельную энергию  $q$ . Поэтому были рассмотрены два режима: с высокой частотой и умеренным энерговыделением ( $f$  около 100-400 Гц и  $q$  до 10 Дж) и второй – с умеренной частотой и большим высоким энерговыделением: ( $f$  – 10 Гц и  $q$  около 40-400 Дж).

Для понимания картины воздействия акустических импульсов на слиток, на первом этапе были проведены эксперименты по регистрации сигналов от всего оборудования, которое входит в состав ВДП; до, в процессе, и после плавки. Экспериментальная установка включала: ВДП, системы вакуумной от-

качки, электро и водо- снабжения, излучатель пневмомеханического типа (ПМИ). ПМИ включает: электродвигатель, 1,2 кВт, 2500 об/мин, исполнительный механизм - вакуумный сильфон с токопроводом, который крепится на дно тигля и устройство, преобразующее вращение мотора в колебательное движение исполнительного механизма. Присутствие в составе установки механизмов, которые вращаются (частей вакуумных насосов, водяных помп и другого силового оборудования), может создать другие источники акустического влияния на ВДП, кроме штатного ПМИ.

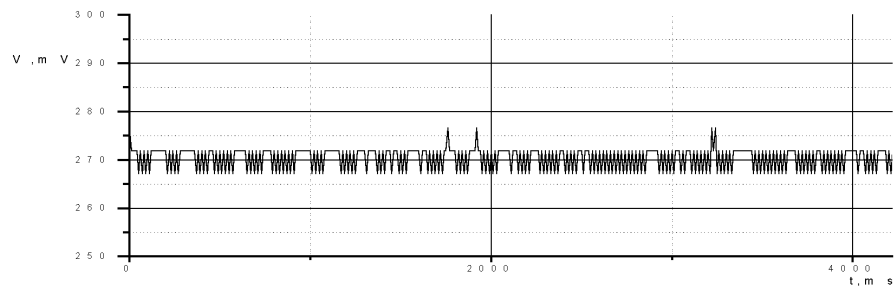
Для получения акустической обстановки на ВДП были смонтированы два датчика акустических колебаний, которые размещались на корпусах ВДП и ПМИ. Датчик №1 был смонтирован на токопроводе, который соединен с подвижной основой тигля, закрепленной на корпусе ВДП через сильфон. Датчик № 2 был размещен на фланце корпуса ВДП. Оба датчика были электроизолированы от печи и генератора на рис. 1.

Были измерены акустические спектры каждого возможного источника шума и их совместный сигнал.

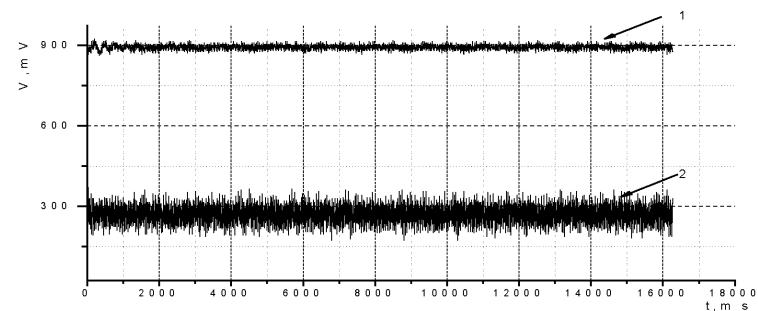
На рис. 2 представлены виды акустических сигналов и уровень их величин для: «нулевого фона» в районе установки – 2, а; 2, б – включения средств откачки и охлаждения (1 – сигнал от датчика № 1, 2 – сигнал от датчика № 2).



Рисунок 1



а)

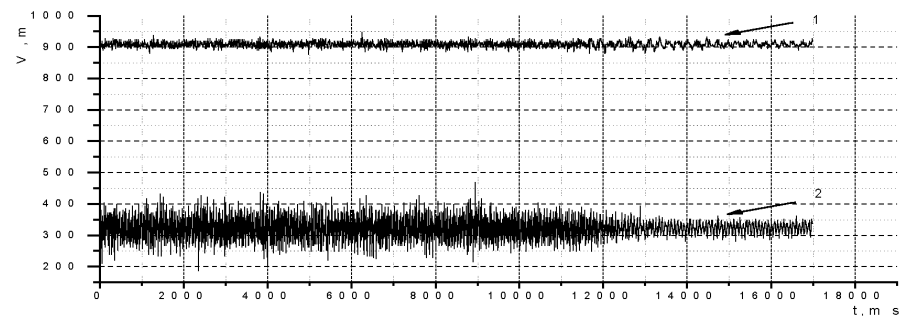


б)

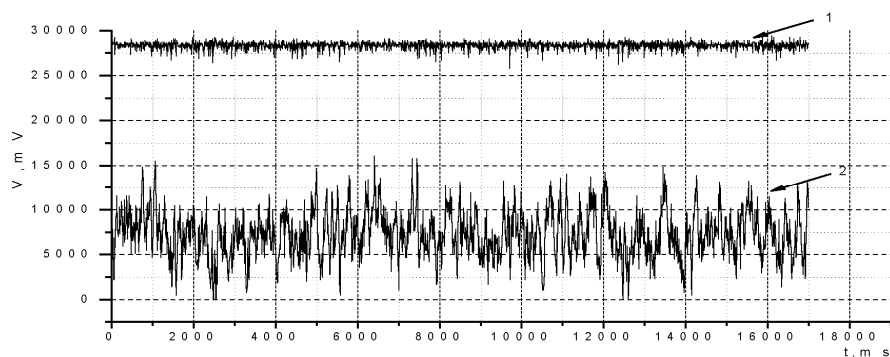
Рисунок 2

На рис. 3 представлены виды акустических сигналов и уровень их величин для 3, а – зажигания дуги и 3, б – Плавка СтЗ с акустическим воздействием (1 – сигнал от датчика № 1, 2 – сигнал от датчика № 2). Как и ожидалось амплитуда с датчика № 2 в несколько раз меньше, чем с датчика находящегося на токопроводе, что обусловлено наличием сильфона, который работает в режиме демпфера и гасит амплитуду акустических колебаний, нежелательных для системы вакуумной откачки вакуумно-дуговой печи.

Амплитуды сигналов при включении ПМИ в 50-100 раз выше уровня других сигналов, поэтому главная роль в изменении структуры слитков принадлежит сигналам ПМИ. За анализом спектров, явно прослеживаются две частоты: 90 и 2 Гц. 90Гц – это основная частота ПМИ и 2 Гц- собственные колебания установки. Повышение частоты колебаний для имеющегося ПМИ требует существенных конструкционных изменений, поскольку расчетное время необходимое сильфону для возврата в исходное положение, составляет 11мс, что и задает  $f = 90 \text{ Гц}$



а)



б)  
Рисунок 3

При рассмотрении процессов в зоне кристаллизации следует учесть: динамику расплава при вакуумной дуговой плавке металла и то же под действием акустических импульсов. В тигле во время переплава имеют место несколько потоков жидкого металла. Восходящий поток в центре, под электродом, радиальный поток направлен наружу, к стенкам тигля – в верхней части расплава, нисходящий поток у стенок тигля и сходящийся поток к центру- в нижней части расплава, у затвердевающей поверхности слитка. Пока не известны скорости этих потоков, но при скоростях около 3 м/с обычно начинаются кавитационные явления. Появление кавитационных полостей- уменьшает поверхностную адгезию жидкого металла с твердым основанием и при ударе – воздействии снизу – полость может схлопнуться, поскольку усилие создаваемое пневмомеханической системой для преодоления влияния вакуума создает вовремя возврата мембраны в верхнее положение силу способную сообщить жидкости ускорение 40 g, которое задается диаметром мембраны и весом присоединенной массы. Далее дно тигля, представляющее поршень уходит вниз с ускорением около 20-30 g , то есть на металл действует растягивающая сила и полость может возникнуть снова и даже увеличиться. Здесь мы не учитываем того, что из-за пульсаций тока – дуга колеблется по радиусу, что уменьшает силу сцепления жидкого металла с подложкой – дном – затвердевающей частью слитка. Именно эти радиальные перемещения жидкого металла снижают его сцепление с подложкой и способствуют образованию пустот, которые затем схлопываются. Именно эти микропустоты могут являться зародышами новой фазы и причиной исчезновения дендритов. Возможные варианты поведения формы капли расплава в тигле при акустическом воздействии – представлены на рис. 4. На рис.5 представлена макроструктура стали X18H10T (5, а – контрольный слиток, 5, б – слиток с динамической обработкой).

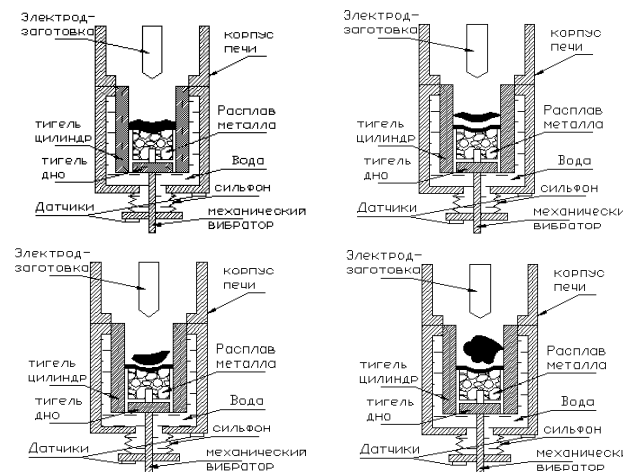
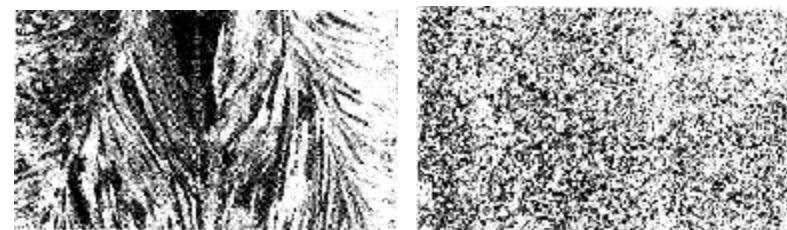


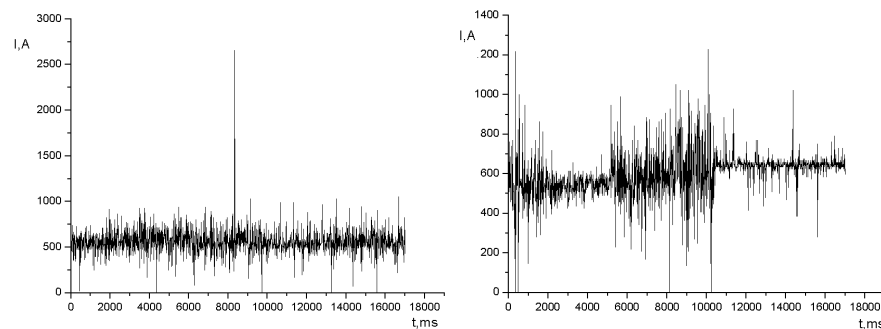
Рисунок 4



а) б)

Рисунок 5

На рис. 6 представлены токовые характеристики вакуумно-дуговой плавки (шунт 500 А /75 мV), а – токовая характеристика во время горения дуги; б – токовая характеристика в момент гашения дуги.



а) б)

Рисунок 6

На рис. 7 представлены акустические сигналы от пневмомеханического вибратора – 1 и 2 – форма токового сигнала, зафиксированного в момент прекращения подачи питания, всплески тока обусловлены, по всей видимости, высокой степенью ионизации газа (амплитуда увеличена в 30 раз в сравнении с акустическим сигналом от излучателя).

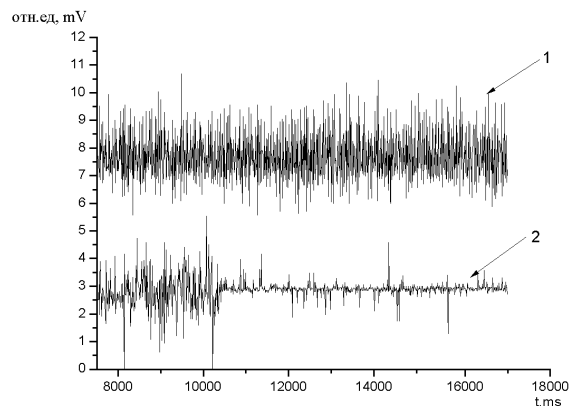


Рисунок 7

В момент гашения дуги появляются нестабильности тока, которые отображены на средней части рис. 6, б. Всплески сигналов длятся несколько секунд, до полного гашения дуги. Последующие токовые импульсные колебания могут быть связаны с пробоями по ионизированному газу. Источником пробоя могут быть процессы, которые возникают во время изменения одной кристаллической структуры на другую или во время термических напряжений возникающих в процессе термоусадки, которые приводят к появлению пылинок и микрокапель. Отрываясь они могут инициировать пробой, видимые на хвосте акустического сигнала рис. 7, б.

На рис. 8 представлена зарегистрированная частота пневмомеханического вибратора в процессе вакуумно-дуговой плавки (85 Гц).

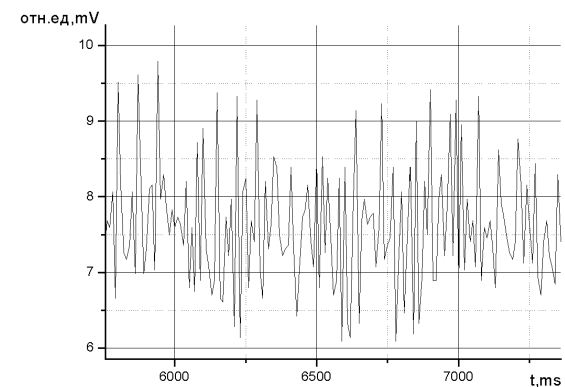


Рисунок 8

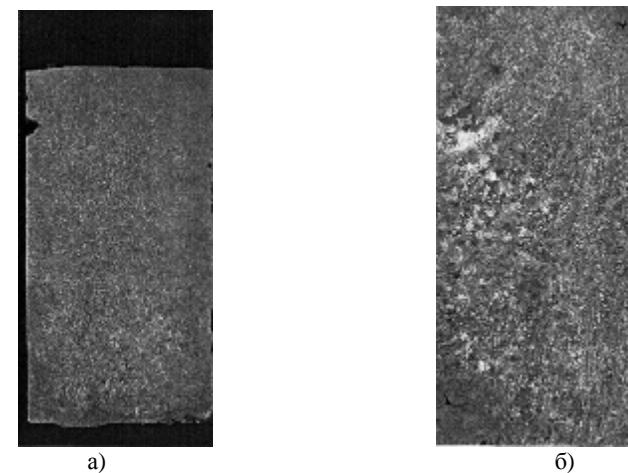


Рисунок 9

Из фото шлифов слитков на рис. 9 (а – слиток металла в условиях влияния акустического воздействия, б – плавка в свободных условиях. Скорость плавки – 30 см/час или 0,1 мм/сек.), которые получены на установке ВДП с системой акустического воздействия, (время плавки  $T = 30$  мин, высота слитка  $H = 15$  см, скорость  $\sim 0,38$  см<sup>3</sup>/с) можно увидеть, что размер кристаллического зерна, полученный при акустическом воздействии уменьшился приблизительно в 2-3 раза. Но, размер зерна повышается с ростом высоты слитка или ростом присоединенной массы. Это свидетельствует о влиянии величины мощности акустического импульса на размер кристаллического зерна слитка.

**Выводы:**

1. Во время пневмомеханического воздействия на расплав осуществляется полноточное воздействие, наряду с основной рабочей частотой излучателя – 85 Гц, также существуют частоты задаваемые электродвигателями дополнительных систем в основном 50 Гц, и собственная частота колебаний установки ~ 2 Гц.
2. Получены позитивные результаты по уменьшению кристаллического зерна с помощью акустических импульсов в вакуумно-дуговых печах.
3. Оценены величины энергии, которые вводятся в слиток (величина присоединенной массы – 5 кг, величина пневматической силы – 2000 Н) для пневмомеханического вибратора с двигателем – 1,2 кВт, равняется 13 Дж/имп., что является максимальной теоретической величиной, реальная – значительно меньше.
4. Нужны более мощные акустические импульсы, для получения более однородной структуры по всей высоте. Для этого можно использовать электрогидроимпульсную технологию.
5. Требуется дальнейшее проведение работ для получения необходимой информации для последующего внедрения разработки в промышленность.

**Список источников информации:** 1. *Пилошенко В.Л., Смирнов А.Н.* Оптимизация выбора технологической схемы виброимпульсной обработки для повышения качества промышленных слитков и заготовок // Металл и литье Украины, 1997. – № 8. – С. 8-13. 2. *Сладкошителей В.Г., Малюшевский П.П., Корытов В.А.* и др. Разработка и исследование метода интенсификации процессов кристаллизации металлических расплавов и затвердевания слитков с помощью виброимпульсного воздействия // Новое в теории и практике электрогидравлического эффекта. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 96-99. 3. Электрогидроимпульсная обработка кристаллизующихся металлов и сплавов: Сб. науч. тр. / АН УССР. ПКБ электрогидравлики; Редкол.: *Гулый Г.А.* (отв. ред.) и др. – Киев: Наук. думка, 1990. – 100 с. 4. *В.Б.Юферов, А.Н.Пономарев, Б.В.Борис, И.В.Буравиков, А.Ф.Ванжа, Е.В.Муфель, Г.В.Писарев* Электрогидроимпульсная установка для обработки расплавов металлов в вакуумно-дуговых печах // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Техника и электрофизика высоких напряжений». – № 20. – 2007. – 8 с.

*Поступила в редакцию 16.10.2009*

УДК 621.373.2

**В.С.ГЛАДКОВ**, канд.техн.наук, вед.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;  
**А.А.ГУЧЕНКО**, зав.сектором, НТУ «ХПИ»;  
**А.В.ШЕСТЕРИКОВ**, науч.сотр., НТУ «ХПИ»;  
**В.Я.ХАЙЛО**, вед.инж., НТУ «ХПИ»;  
**МАРКУС ШТИМЕР**, докт.физ.-мат.наук, проф., Технический университет Дортмунда, Германия

### **ВЫСОКОПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР НАПРЯЖЕНИЕМ 100 КВ**

Описаний високопотенційний трансформатор 220В/220В напругою 100 кВ й потужністю 100 Вт.

The results of theoretical study of transmission properties of the ohmic voltage divider type of SGL-1 for rated voltage of 1 MV are given.

В настоящее время в связи с развитием нанотехнологий в различных отраслях науки и техники возникла потребность в применении ускорителей электронов, протонов, ионов водорода, гелия и др. заряженных частиц. А это повлекло за собой необходимость создания высокопотенциальных (изолирующих) трансформаторов 220В/220В напряжением 50-100 кВ и мощностью до 100 Вт для питания инжекторов частиц. Потенциальные трансформаторы нашли также применение в системах управления и диагностики электрофизических установок экологически чистой и безотходной утилизации железобетонных (бетонных) изделий при воздействии наносекундных импульсов напряжения, а также в цепях питания высоковольтной аппаратуры установок экологически чистой фильтрации трансформаторного масла.

Известно, что к высокопотенциальным трансформаторам относятся трансформаторы, у которых потенциал вторичной обмотки по отношению к первичной превышает 1000 В. Основными особенностями высокопотенциальных трансформаторов по сравнению с трансформаторами, работающими при напряжении до 1000 В, являются увеличенные изоляционные расстояния и, как следствие, значительное уменьшение коэффициента заполнения окна магнитопровода медью, увеличение относительного значения падения напряжения в обмотках трансформатора, изменение оптимальных геометрических соотношений между размерами высокопотенциальных трансформаторов по сравнению с низковольтными трансформаторами, наличие в изоляции трансформаторов дополнительных диэлектрических потерь и потерь на сквозную проводимость и ионизацию.

В результате уменьшения коэффициента заполнения окна и увеличения падения напряжения в обмотках удельная мощность высокопотенциальных трансформаторов уменьшается, а их габаритные размеры и масса значительно