

**Программа**  
**краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников**  
**высшей школы по направлению**  
**150600 «Материаловедение и технология новых материалов»**  
**на базе учебного курса**

**«Ультразвуковое и коллекторное компактирование нано- и полидисперсных порошков»**

**Цель:** Изучение особенностей ультразвукового и коллекторного компактирования нано и полидисперсных порошков.

**Категория слушателей:** преподаватели и научные работники высшей школы

**Срок обучения:** 24 часа

**Форма обучения:** с частичным отрывом от работы

**Режим занятий:** 8 часов в день

*Целью данного курса* является ознакомление с разработанным перспективным методом для производства конструкционной керамики – методом сухого (без применения загрязняющих пластификаторов и связок) одноосного прессования нанопорошков при одновременном воздействии мощных ультразвуковых колебаний. Применение ультразвука при прессовании нанопорошков керамики различного состава влияет на зернистость, фазовый состав спеченной керамики, в которой формируется более однородная структура с сохранением наноразмерных зерен и субзерен, а в керамике из нанопорошка состава  $ZrO_2$  – 5% вес  $Y_2O_3$  стабилизируется высокотемпературная фаза. Сухое прессование под действием мощного УЗ существенно влияет на свойства получаемой керамики. Кроме того, демонстрируется методика построения кривых уплотнения, позволяющие максимально корректно определить значения коэффициентов уравнения прессования, обозначены проблемы методов холодного прессования в закрытых пресс-формах. Изложены принципы коллекторного способа прессования, реализация которого в различных вариантах позволяет минимизировать перепады плотности по объёму порошковых изделий различной формы. Описаны конструкции пресс-форм для производства порошковых изделий различной геометрической формы, реализующие коллекторный способ прессования.

**Требования к уровню освоения учебного курса**

Преподаватели должны:

**Знать:**

- Методы получения нанопорошков
- Условия формирования наноструктурных материалов
- Влияние ультразвука на: твердофазный синтез, дислокационную структуру, механизм разрушения хрупких и пластичных материалов, диспергирование

порошковых материалов, акустопластический эффект при пластической деформации.

- Воздействие УЗ на процесс компактирования нанопорошков и его последующее влияние на свойства спекаемой керамики.

**Иметь навыки:**

- сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области новых методов компактирования нанопорошков и методов их исследования.
  - включать приобретенные знания о новых методах компактирования нанопорошков и методах их исследования в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
  - переносить полученные знания о новых методах компактирования на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- **Иметь представление:**
    - о разработке новых подходов в теории и технологии прессования нанопорошков с учетом их специфических свойств,
    - о принципиально новом способе прессования – коллекторном способе прессования;
    - о возникновении квазирезонансного эффекта, возникающего при совпадении размеров наночастиц или агломератов с их колебательным смещением под ультразвуковым воздействием;
    - о влиянии ультразвукового воздействия на процессы, происходящие в различных реакционных системах при синтезе материалов, на изменения, происходящие в первоначальной дислокационной структуре, на механизм разрушения хрупких и пластичных материалов.
    - о методах исследования механических свойств, фазового состава и рентгеноструктурных особенностях получаемых керамик.

Научные работники должны:

▪ **Знать:**

- Методы получения нанопорошков
- Условия формирования наноструктурных материалов
- Влияние ультразвука на: твердофазный синтез, дислокационную структуру, механизм разрушения хрупких и пластичных материалов, диспергирование порошковых материалов, акустопластический эффект при пластической деформации
- Общее представление о методах компактирования нанопорошков.
- Воздействие УЗ на процесс компактирования нанопорошков и его последующее влияние на свойства спекаемой керамики

▪ **Иметь навыки:**

- сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области новых методов компактирования нанопорошков и методах исследования структуры и свойств;
- планирования и проведения исследований и экспериментов с использованием новых методов компактирования нанопорошков;
- генерировать новые плодотворные научно-технические и инновационные идеи с использованием технологии новых методов компактирования нанопорошков;
- переносить полученные знания о новых методах компактирования нанопорошков и методах их исследования на смежные предметные области и к использованию этих знаний для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности;

▪ **Иметь представление:**

- о разработке новых подходов в теории и технологии прессования нанопорошков с учетом их специфических свойств
- о принципиально новом способе прессования – коллекторном способе прессования;
- возникновении квазирезонансного эффекта, возникающего при совпадении размеров наночастиц или агломератов с их колебательным смещением под ультразвуковым воздействием;
- о методах исследования механических свойств, фазового состава и рентгеноструктурных особенностях получаемых керамик

Учебный курс «Ультразвуковое и коллекторное компактирование нано- и полидисперсных» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в Томском политехническом университете.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические основы метода ультразвукового и коллекторного прессования нано и полидисперсных порошков как один из перспективных для изготовления объемных порошковых материалов. Теоретическая часть учебного курса состоит из четырех лекций:

***Лекция 1: Общие представления об особенностях наноструктуры, процессах формирования порошковых материалов и особенностях воздействия ультразвука на твердофазные системы.***

Введение в нанотехнологию. Особенности объемных наноструктурных материалов. Условия формирования наноструктуры материала. Агломераты наночастиц. Основные методы получения нанопорошков. Особенности формирования нанопорошков. Влияние ультразвукового воздействия на твердофазный синтез. Влияние ультразвукового воздействия на дислокационную структуру кристалла, акустопластический эффект. Механизм разрушения хрупких и пластичных материалов при ультразвуковом воздействии. Влияние кавитационного ультразвукового воздействия на диспергирование порошковых материалов.

***Лекция 2: Эффекты активации наноструктурных порошков мощным ультразвуковым воздействием.***

Влияние предварительной ультразвуковой обработки на технологические свойства порошков. Не кавитационная УЗ-активация нанопорошков  $ZrO_2$ -5вес% $Y_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ . Особенности структуры наночастиц, активированных мощным ультразвуковым воздействием. Воздействие ультразвука на распределение элементов в наночастицах.

***Лекция 3. Влияние ультразвукового воздействия при компактировании порошков на свойства спеченных керамик.***

Разработка ультразвуковых пресс-форм для сухого прессования нанопорошков. Распространение ультразвука в среде нанопорошков переменной плотности. Влияние УЗ-компактирования нанопорошка состава  $ZrO_2$ -5вес% $Y_2O_3$  на микроструктуру циркониевой керамики. Свойства циркониевой керамики, изготовленной с применением УЗ-компактирования и спеченной в вакууме. Влияние УЗ-прессования нанопорошков YSZ и  $Nd^{3+}Y_2O_3$  на твердость, прочность и ударную вязкость керамики. Классификация эффектов УЗ-воздействия на компактируемые порошки.

**Лекция4: Классификация эффектов УЗ-воздействия на компактированные материалы.**

Структурно-масштабная иерархия нанокерамики Y-TЦП. Анализ фазового состава нанокерамики Y-TЦП методами ПЭМ. Дефектная субструктура нанокерамики Y-TЦП. Исследования микроструктуры нанокерамики Y-TЦП методами АСМ.

**Методические рекомендации по реализации учебной программы**

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 12 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru). Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

**Тестовые вопросы к курсу**

**«Ультразвуковое и коллекторное компактирование нано- и полидисперсных»**

**Лекция 1: Общие представления об особенностях наноструктуры, процессах формирования порошковых материалов и особенностях воздействия ультразвука на твердофазные системы.**

**1. Что такое нанотехнология?**

- А) технология, имеющая дело с элементами не более 100 нм;      Б) технология, которая имеет дело с субмикронными элементами;  
В) технологии, где используют основные законы физики;      Г) разработка и использование устройств с размерами в несколько нм;

**2. Особенности наноструктурных материалов?**

- А) высокая скорость звука;      Б) высокая температура плавления;  
В) высокая твердость и пластичность;

**3. Чем определяются свойства наночастиц?**

- А) химическим составом;      Б) температурой плавления;  
В) способом получения;

**4. Чем вызвана агломерация нанопорошков?**

- А) стремление минимизировать поверхностную энергию;      Б) формой и размерами наночастиц;  
В) химическим составом;

**5. Необходимые условия формирования наноструктуры при спекании компактов?**

- А) высокая пористость компакта;      Б) обеспечение высокой скорости уплотнения;  
В) понижение температуры;

**6. Зависит ли форма частиц нанопорошка от способа получения?**

- А) зависит;      Б) зависит от химического состава;  
В) не зависит;

**7. Отличительные черты ультразвуковой обработки твердого тела?**

- А) увеличивает температуру начала синтеза;  
Б) изменяет химический состав;  
В) инициирует твердофазные превращения;

**8. Как влияет ультразвуковое воздействие на дислокационную структуру?**

- А) приводит к образованию призматических петель и движению краевых дислокаций;  
Б) изменение химического состава;

**9. Каков механизм разрушения хрупких материалов?**

- А) изменение в химическом составе;  
Б) диффузионно-дислокационный;  
В) образование пор как в зерне, так и на границе;

**Лекция 2: Эффекты активации наноструктурных порошков мощным ультразвуковым воздействием**

***Общие представления об особенностях наноструктуры, процессах формирования порошковых материалов и особенностях воздействия ультразвука на твердофазные системы.***

**1. Методы получения наноматериалов влияют на формирование структуры и свойств?**

- А) не влияют;  
Б) существенно влияют;

**2. Влияет ли предварительная ультразвуковая обработка на технологические характеристики порошков?**

- А) не влияет;  
Б) ухудшает;  
В) улучшает технологические характеристики;  
Г) ухудшает спекание;

**3. Каким методом исследовались эффекты УЗ воздействия на кристаллическую структуру?**

- А) методом фазового рентгеноструктурного анализа;  
Б) методом БЭТ;  
В) на микротвердомере ПМТ-3;  
Г) методом ПЭМ – анализа;

**4. Каким методом можно исследовать прочностные свойства керамик?**

- А) методом определения микротвердости;  
Б) БЭТ анализом;  
В) методом рентгенофазового анализа;

**Лекция 3: Влияние ультразвукового воздействия при компактировании порошков на свойства спеченных керамик.**

**1. В чем заключаются проблемы компактирования нанопорошков?**

- А) в обеспечении равноплотности;  
Б) в сохранении пористости;

В) в высокой насыпной плотности;

**2. В чем заключается эффект УЗ воздействия при компактировании?**

А) обеспечивает достижение наибольшей плотности;      Б) увеличивает пористость;

В) увеличивает размер зерен;

**3. Зависят ли плотность и механические свойства керамических образцов от плотности компактов, спрессованных при УЗ воздействии?**

А) зависят;      Б) не зависят;

В) зависят от химического состава;

**4. Влияет ли УЗ-воздействие на параметры структуры в спеченной керамике?**

А) не влияет;      Б) влияет;

В) влияет на химический состав;      Г) влияет на характер распределения пор;

**Лекция 4: Классификация эффектов УЗ-воздействия на компактированные материалы.**

**1. Возможно ли существование двух структурных фаз в одной наночастице при УЗ компактировании?**

А) не возможно;

Б) возможно;

**2. Существует ли оптимальный диапазон УЗ-мощности, зависящий от природы нанопорошка, фактора формы прессовок, при котором компактируется образец и с сохранением наноструктуры прессовок нанопорошка?**

А) существует;

Б) не существует;

**3. Перспективен ли метод УЗВ воздействия при изготовлении оптической керамики?**

А) перспективен;

Б) не перспективен;

В) Снижает коэффициент ослабления;

### **Контрольные вопросы для проверки материала**

1. Сформулировать такие определения как нанотехнологии, наночастицы, наноаука.

2. Дать определения наноструктурным материалам

3. Как изменяется прочность. Твердость и пластичность при изменении размера зерна.

4. Как влияет УЗ обработка на твердое тело (на твердофазные превращения, реакцию металлотермии, обменные реакции).

5. Влияние УЗ обработки на дислокационную структуру кристалла.

6. Механизм разрушения хрупких и пластичных материалов при УЗ воздействии.

7. Акустопластический эффект.

8. Кавитационное УЗ воздействие на диспергирование порошковых материалов.

9. Влияние предварительной УЗ обработки на технологические свойства нанопорошков.

10. Методы получения нанопорошков.

11. Мощное кавитационное акустическое воздействие как распространенный метод активации.

12. Использование УЗ колебаний для интенсификации технологических процессов и улучшения свойств изделий.
- 13 Некавитационная УЗ активация нанопорошков.
14. Особенности структуры наночастиц, активированных мощным УЗ воздействием.
15. Воздействие УЗ на распределение элементов в наночастице.
16. Конструкции УЗ прессформ для сухого прессования нанопорошков.
17. Распространение УЗ в среде нанопорошков переменной плотности.
18. Влияние УЗ крмпактирования нанопорошков состава  $ZrO_2-5\%Y_2O_3$  на микроструктуру.
19. Исследование микроструктуры нанокерамики методами АСМ
- 20 . Влияние режимов УЗ прессования на улучшения характеристик оптической лазерной керамики.
21. Классификация эффектов УЗ-воздействия на компактируемые порошки.

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

**Темы контрольных рефератов по курсу  
«Ультразвуковое и коллекторное компактирование нано- и полидисперсных порошков»**

1. Области использования наноструктурных материалов.
2. Перспективы развития нанотехнологий в России.
3. Перспективы использования функциональной керамики с высокими прочностными свойствами
4. Взаимосвязь структуры и механических свойств нанокерамик.
5. Перспективность применения различных методов прессования, в том числе и применения УЗ –прессования, для изготовления оптически прозрачных керамик.
6. Перспективные методы компактирования для производства функциональной керамики.
7. Влияние способа подведения УЗ колебаний на качество прессовок.
8. Основные технологические моменты для обеспечения равномерности при коллекторном прессовании.
9. Изменение параметров кристаллической структуры нанопорошков при прессовании с применением УЗ разной мощности.
10. Применение метода наноиндентирования для определения динамических характеристик наноматериалов.

**Учебно-тематический план**

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	

			преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)			
	«Ультразвуковое и коллекторное компактирование нано- и полидисперсных порошков»	24 ч.	10 ч.	2 ч.	12 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка)  Реферат
1.	Лекция 1: Общие представления об особенностях наноструктуры, процессах формования порошковых материалов и особенностях воздействия ультразвука на твёрдофазные системы.		2,5 ч.	0,5 ч.		
2.	Лекция 2: Эффекты активации наноструктурных порошков мощным ультразвуковым воздействием		2,5 ч.	0,5 ч.		
3.	Лекция 3: Влияние ультразвукового воздействия при компактировании порошков на свойства спеченных керамик.		2,5 ч.	0,5 ч.		
4.	Лекция 4: Классификация эффектов УЗ- воздействия на компактирован-		2,5 ч.	0,5 ч.		



ные материалы.					
Итоговый контроль			Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Реферат	

**Список литературы (основной и дополнительной),  
а также других видов учебно-методологических материалов**

1. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий / О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, З.Г. Бикбаева – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.- 196 с.
2. Попильский Р.Я., Пивинский Ю.Е. Прессование порошковых керамических масс. – М.: Металлургия, 1983.- 176 с.
3. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1972. – 528 с.
4. Бальшин М.Ю. Порошковая металлургия. – М.: Машгиз, 1948, 286 с.
5. Бережной А.С. О зависимости между давлением прессования и пористостью необожженных огнеупорных изделий // Огнеупоры. – 1947. - № 3. – С. 124-130.
6. Ультразвук: Маленькая энциклопедия / Гл. ред. И.П. Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
7. Агранат Б.А., Гудович А.П., Нежевенко Л.Б. Ультразвук в порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1986. – 168 с.
8. Кулемин А.В. Ультразвук и диффузия в металлах. – М.: Металлургия, 1978. – 200 с.
9. Хасанов О.Л. Научные основы сухого компактирования ультрадисперсных порошков в технологии изготовления нанокерамики: Дис. ... докт. Техн. Наук.- Томск.- 2003.- 405 с.
10. Эффекты мощного ультразвукового воздействия на структуру и свойства наноматериалов. /О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, Полисадова В.В. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.- 153 с.

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru)**