

# АМОРФНЫЕ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ



# РАЗНОВИДНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ\*

1. **Консолидированные наноматериалы** - пленки, покрытия из металлов, сплавов и соединений, получаемые методами порошковой технологии, интенсивной пластической деформации, контролируемой кристаллизации из аморфного состояния и разнообразными методами нанесения пленок и покрытий.
2. Нанополупроводники.
3. Нанополимеры.
4. Нанобиоматериалы.
5. Фуллерены и тубулярные наноструктуры.
6. Нанопористые материалы.
7. Катализаторы.

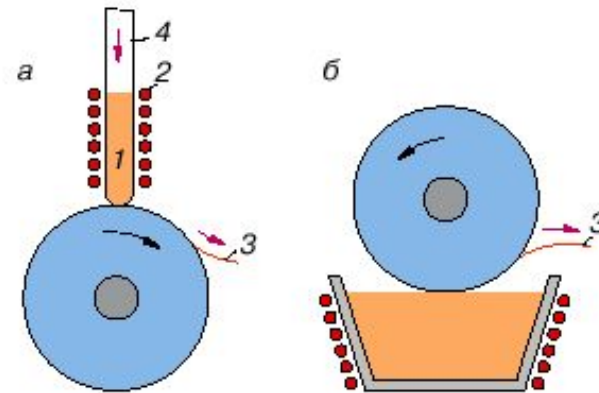
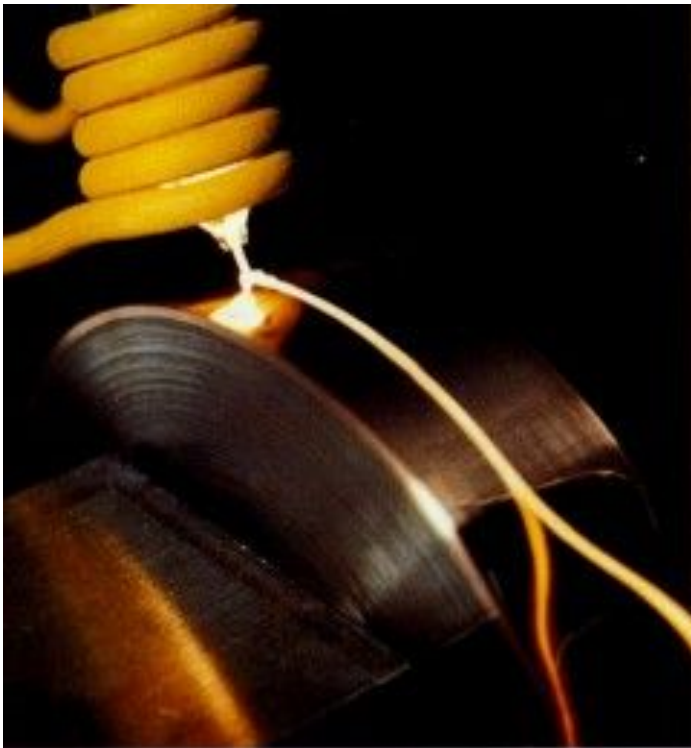
\* Андриевский Р.А., Рагуля А.В. «Наноструктурные материалы»

Среди наноматериалов, интенсивное изучение которых ведется в течение последних 10 лет, можно выделить три класса:

- ультрадисперсные порошки и компактные нанокристаллические материалы;
- нанокластеры и нанокластерные структуры;
- фуллерены, нанотрубки и их производные.

Процесс кристаллизации металлического расплава можно предотвратить, если осуществлять его со скоростью  $10^6$ - $10^8$  К/с!

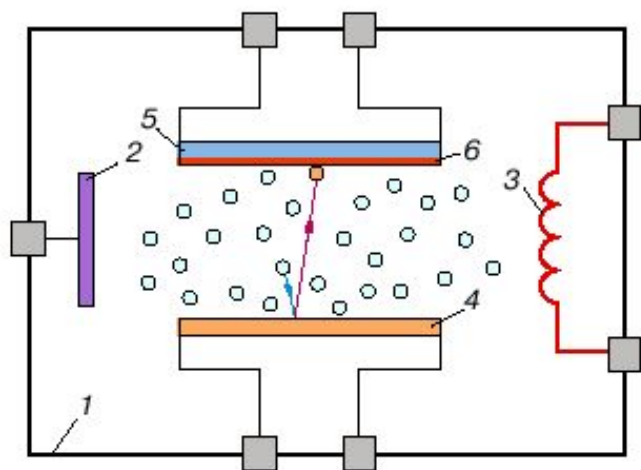
## 1. Закалка из жидкого состояния



**Рис. 1.** Схемы устройств для получения аморфных сплавов закалкой из жидкого состояния: а – нанесение расплава на вращающийся металлический диск или цилиндр; б – извлечение расплава вращающимся диском; 1 – расплав, 2 – нагревательное устройство (индукционная печь), 3 – лента аморфного сплава, 4 – кварцевая трубка

В большинстве случаев удавалось получить лишь тоненькие и узенькие ленточки, полосочки металла

## 2. Ионно-плазменное распыление



**Рис. 2.** Схема установки для четырехэлектродного распыления: 1 – вакуумная камера, 2 – анод, 3 – катод, 4 – мишень, 5 – подложка, 6 – аморфный материал





# Структура аморфных сплавов

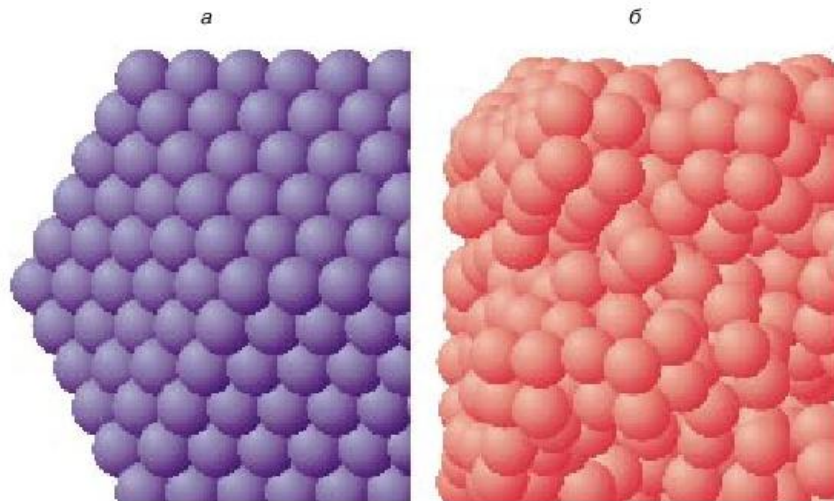


Рис. 3. Компьютерные модели структуры дальнего (а) и ближнего (б) порядка

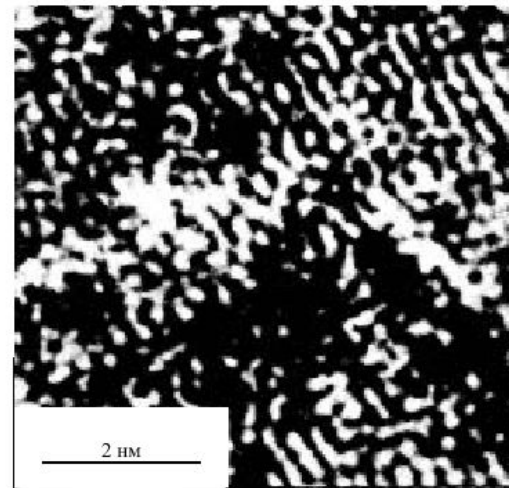


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение атомной структуры сплава Fe<sub>74</sub>V<sub>26</sub> в режиме прямого разрешения

При комнатной температуре аморфные сплавы могут сохранять структуру и свойства  $10^4$ - $10^5$  лет

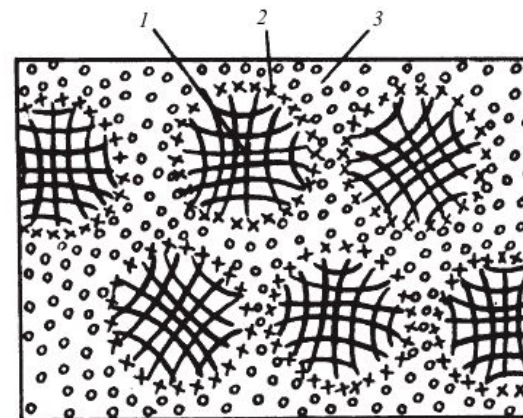


Рис. 4. Структурная модель аморфно-нанокристаллического состояния, сформировавшегося после закалки из расплава со скоростью, близкой к критической:

1 — нанокристаллы; 2 — переходная область; 3 — прослойки аморфной фазы

# Физические свойства аморфных сплавов

Плотность АС на 1-2% ниже кристаллических аналогов, прочность выше в 5-10 раз!

Электрическое сопротивление АС в 3-5 раз выше, чем у кристаллических аналогов!

АС почти всегда являются магнитомягкими ферромагнетиками

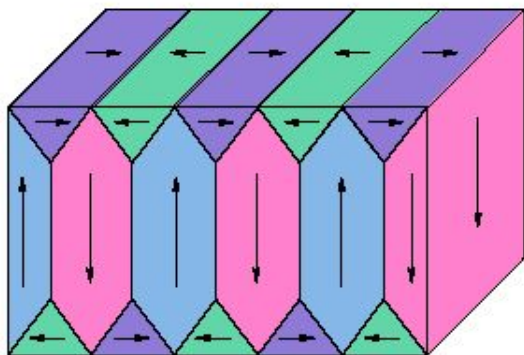


Рис. 4. Доменная структура ферромагнетика

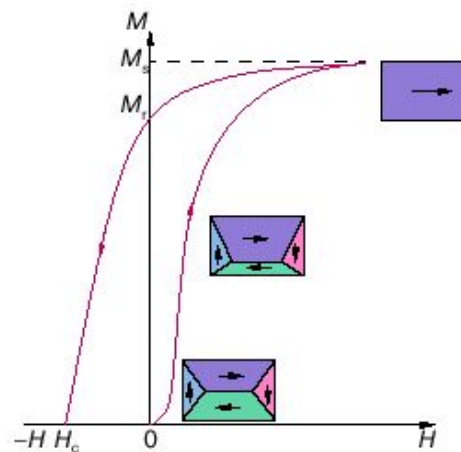


Рис. 5. Схематическое изображение процесса намагничивания и соответствующие изменения в доменной структуре ферромагнитного материала

Уменьшение магнитной анизотропии у АС приводит к резкому снижению коэрцитивного поля, что уменьшает потери при перемагничивании.

# Применение аморфных сплавов



Особые магнитные свойства пригодились при изготовлении специальной кодовой маркировки - для борьбы с хищениями. Стали распылять жидкий металл на поверхность буровых труб, что продлевает их срок службы. И т.д.

С начала 80-х годов наши российские учёные И.В. Золотухин, Ю.В. Бармин, Ю.Е. Калинин, М.Г. Землянов, С.Н. Ишмаев, И.П. Садиков, Г.Ф. Сырых и другие опубликовали интереснейшие исследования на тему аморфных металлических материалов, в том числе, - и о возможностях их практического применения.

Например, в качестве диффузионных барьеров на границе металл-полупроводник - для миниатюризации электронных устройств; для изготовления магнитных головок и датчиков; для создания малогабаритных трансформаторов и высокочувствительных сенсорных устройств, которые могут работать в самых сложных условиях благодаря высоким характеристикам упругости, изотропности, электромагнитных и других свойств.



# Нанокристаллические металлические материалы

Металлы и сплавы, в которых можно создать структуру, состоящую из кристаллических зерен размером не больше 1-15 нм!

Методы получения:

- осаждение материалов из газовой среды-материал испаряется в атмосфере инертного газа при давлении 130-1000 Па; недостаток-большая пористость;

-управляемая рекристаллизация из аморфного состояния;

# Структура НКМ

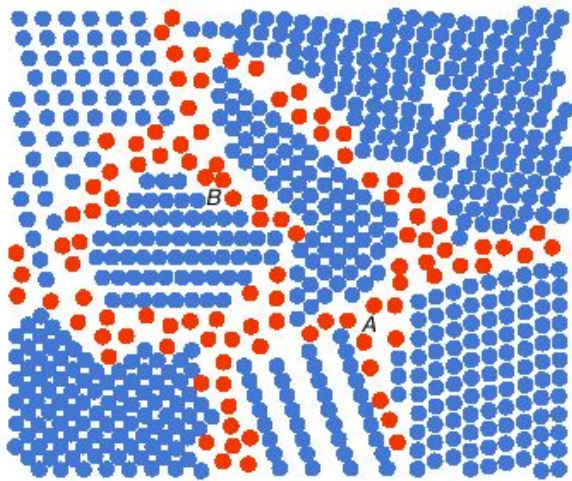
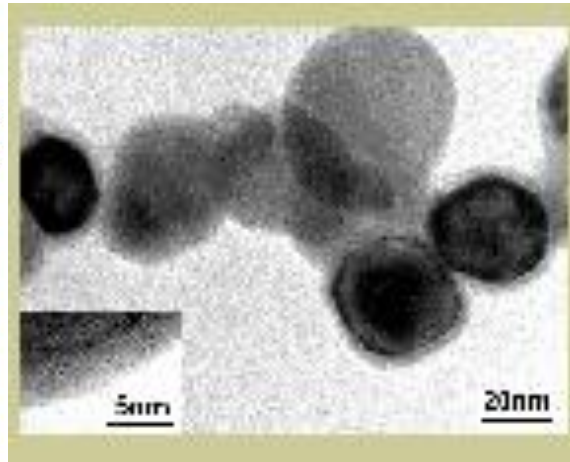


Рис. 1. Схематическое представление структуры нанокристаллического материала. Синие кружки – атомы кристаллитов, красные – межкуристаллитных границ



Проблема-неустойчивость нанокристаллической структуры. Даже при комнатной температуре происходит рост зерна и материал теряет нанокристаллические свойства

## Свойства НКМ:

- механические: предел прочности выше, чем у кристаллических в 2-2.5 раза;
- магнитные: потери при перемагничивании стремятся к нулю.

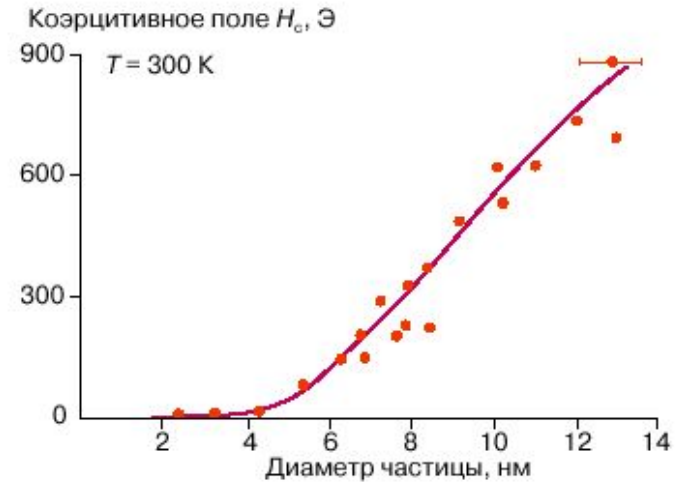


Рис. 2. Коэрцитивное поле  $H_c$  частиц железа в зависимости от диаметра