



ТВЭЛ
РОСАТОМ

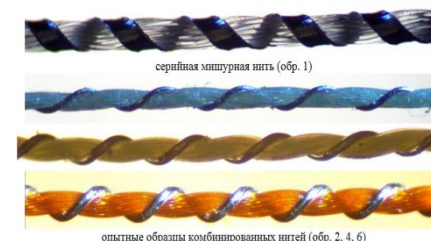
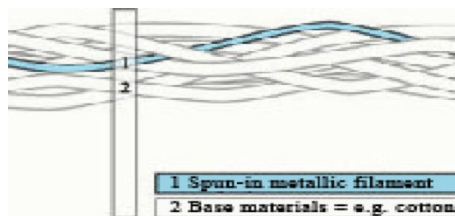
***X Всероссийская научно-техническая конференция
«Электромагнитная совместимость» ЭМС***

**Высокопрочный, высокоэлектропроводный
микрокомпозиционный провод для
применения в электромагнитных экранах
сигнальных и силовых кабелей**

Панцырный В.И. АО «ТВЭЛ» ООО «НПП Нанозлектро»
Борисов М.В. ООО «НПЦ «Экран»



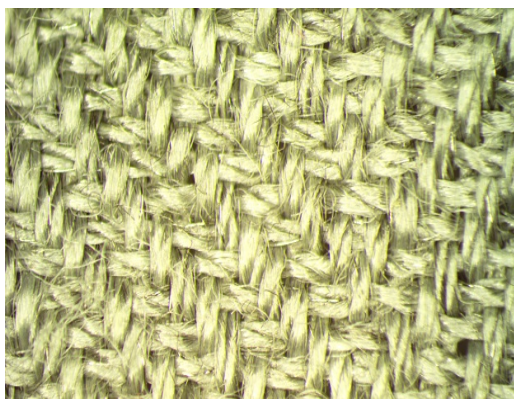
2 типа защитных тканей от ЭМИ



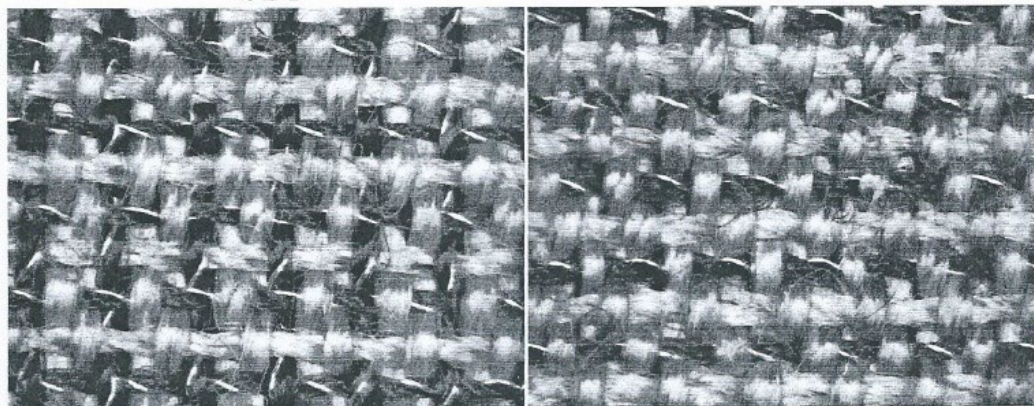
Эффективность экранирования:

В низкочастотном диапазоне 0.3-1300 МГц - 70-30 dB;

В высокочастотном диапазоне 8.4-16 ГГц - 22-16 dB.



Ткань – проволока нерж.сталь
ф. Bekaert (Бельгия)



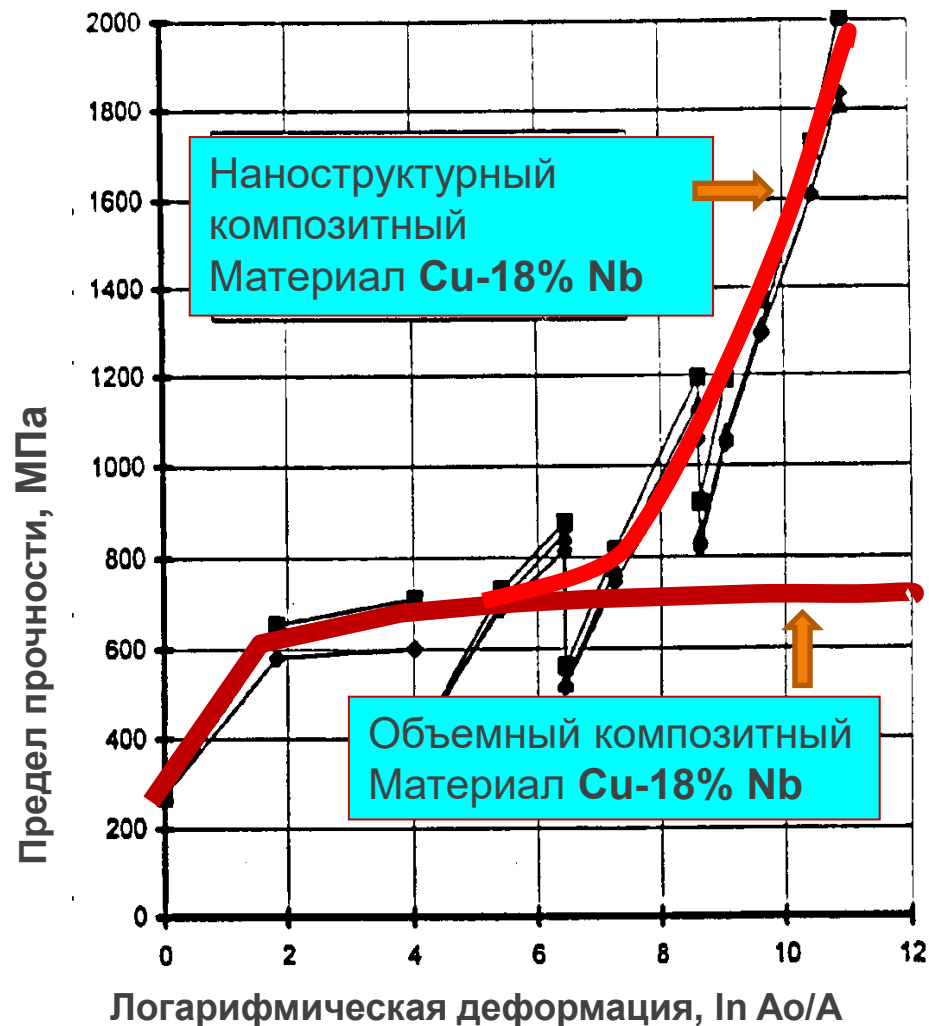
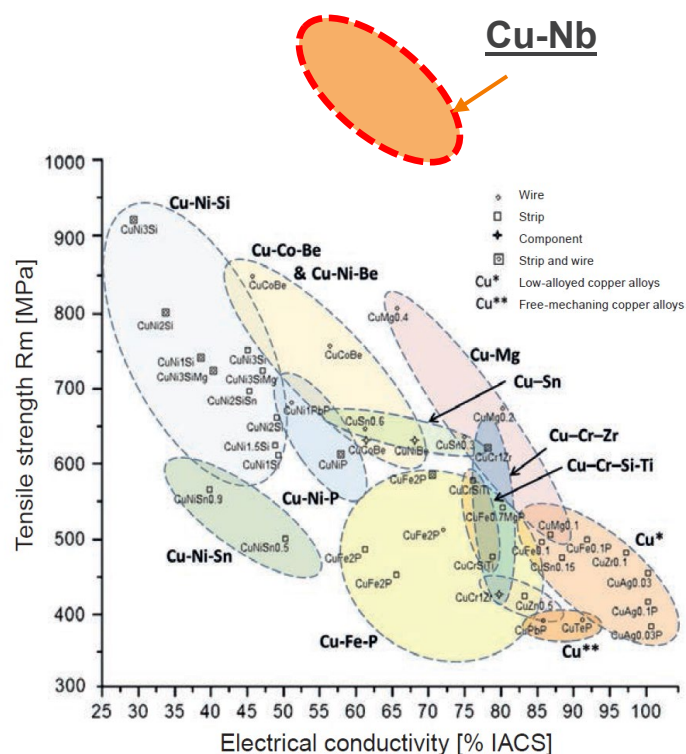
Ткань – проволока Cu-Nb (ПМПЭ-МНБ-Ср -5 0,06)
НПП Нанозлектро – ООО ТЕКС-ЦЕНТР

Удельное электрическое сопротивление стали (0,103...0,137 Ом·мм²/м) на порядок больше, чем у меди (0,0172...0,018 Ом·мм²/м), что негативно отражается на экранирующих свойствах ткани.

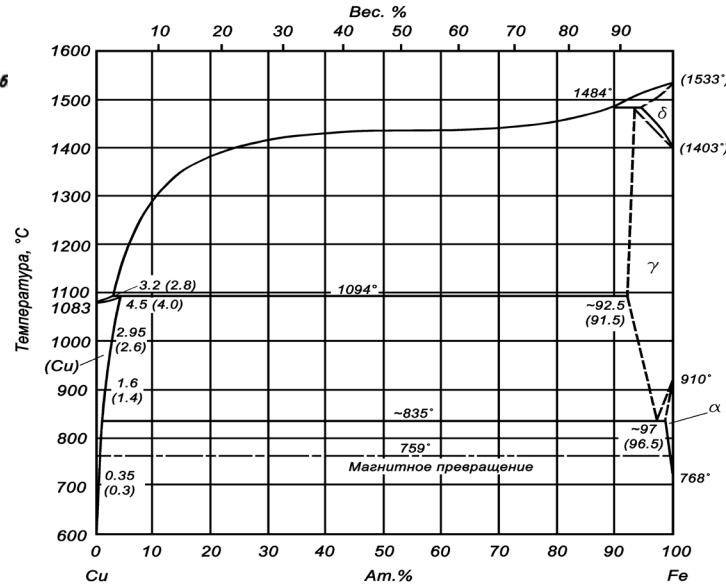
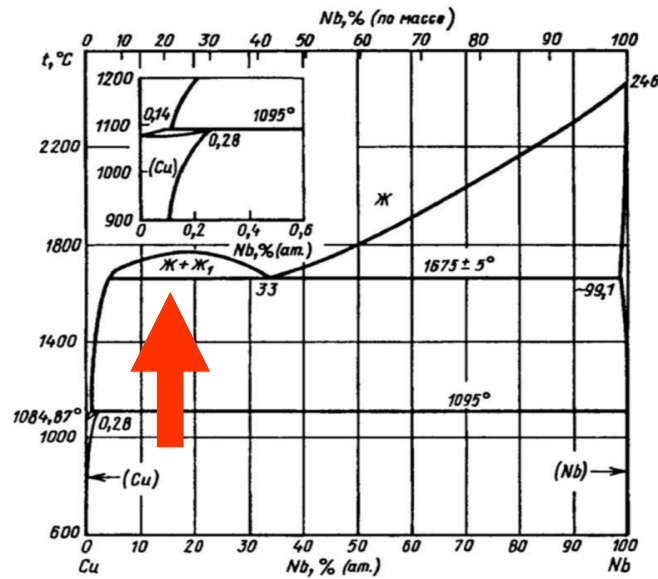
Эффект аномального повышения прочности в наноструктурных *in situ* композитах Cu-Nb

В электротехнике используют высокопрочные, дисперсионно-твердеющие сплавы на основе Cu-Zr, Cu-Cr, Cu-Cr-Zr, Cu-Mg, Cu-Ni-Si-Mg, Cu-Be

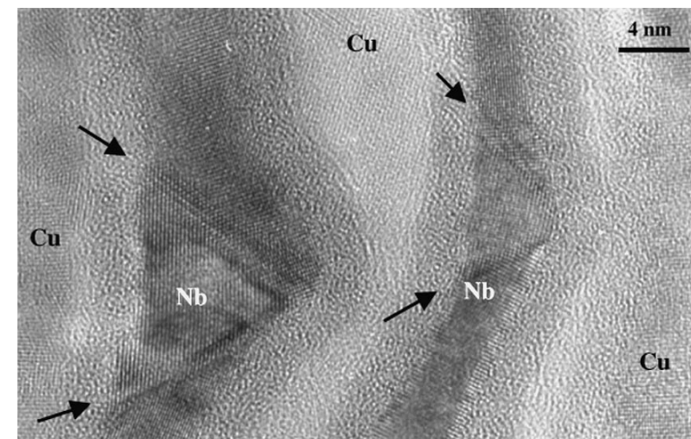
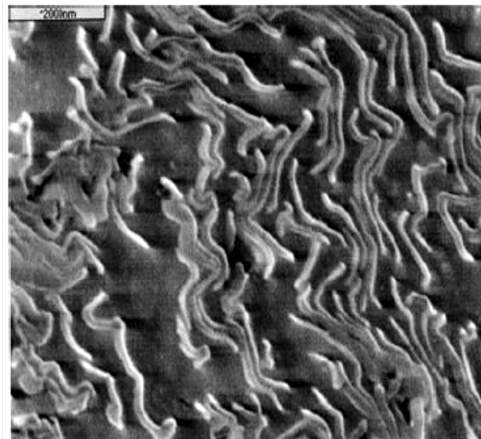
Свойства разработанных Cu-Nb проводов далеко превосходят свойства мировых аналогов.



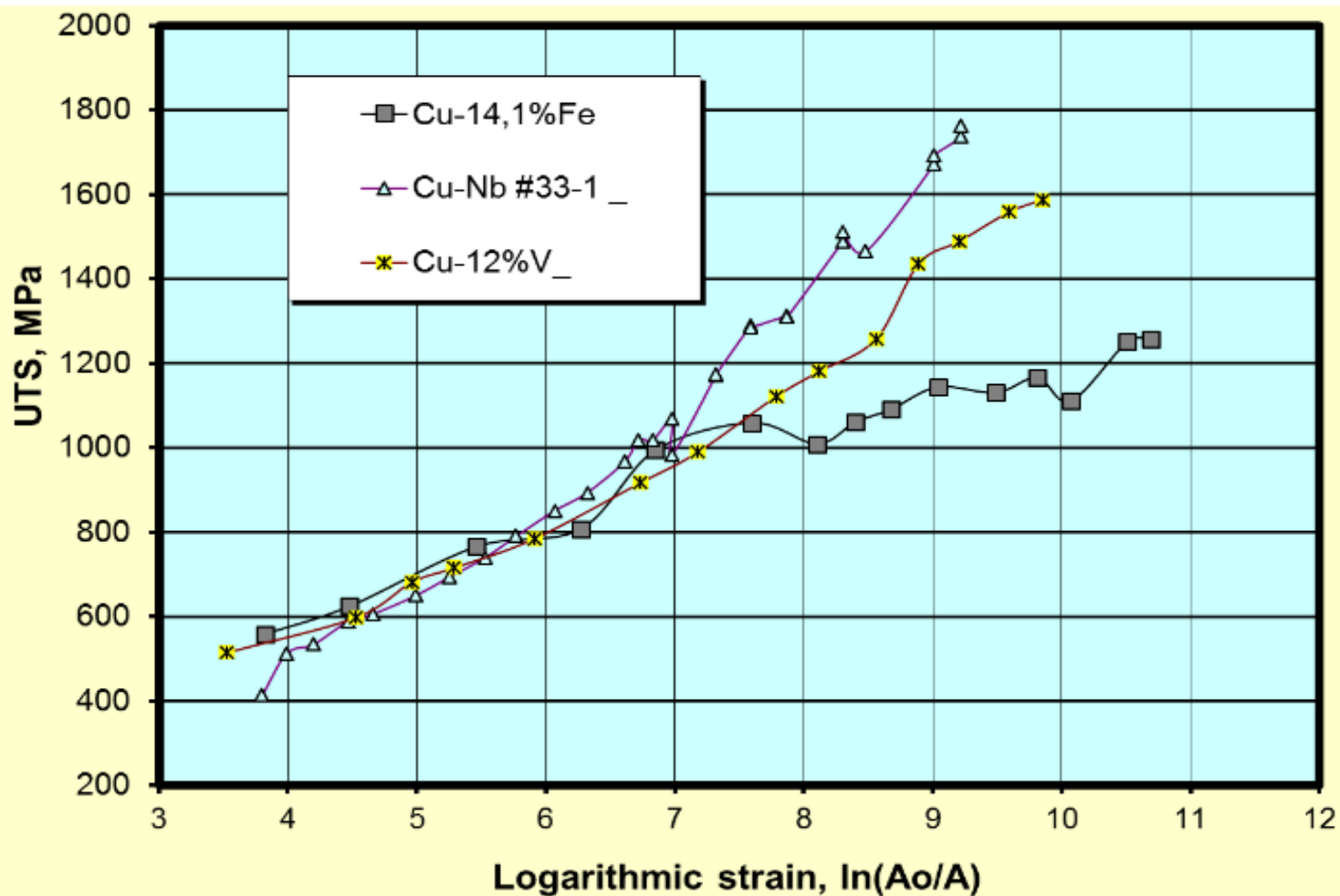
Эффект аномального повышения прочности в наноструктурных *in situ* композитах Cu-Nb

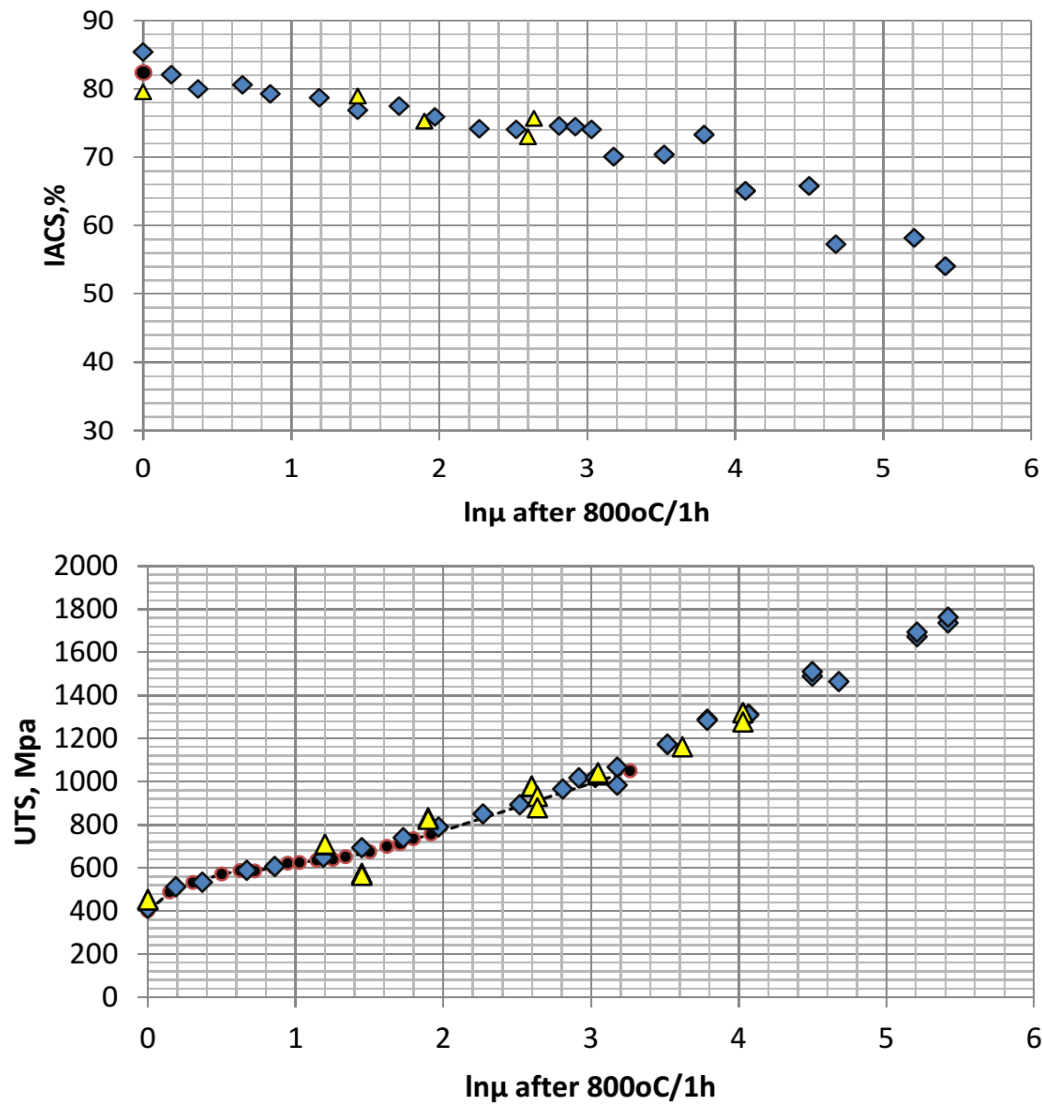


Трансформация морфологии размеров и формы Nb частиц сплава Cu-Nb (*in situ* микрокомпозит) от дендритных частиц 5-10 мкм до ленточных волокон толщиной порядка 10 нм с формированием заданной текстуры (110)Nb/(111)Cu



Деформационное упрочнение Cu-Nb; Cu-V и Cu-Fe проводов

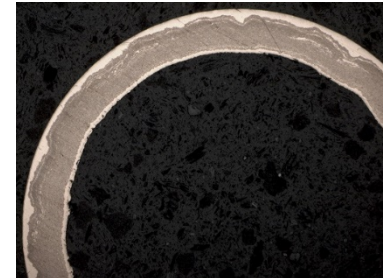
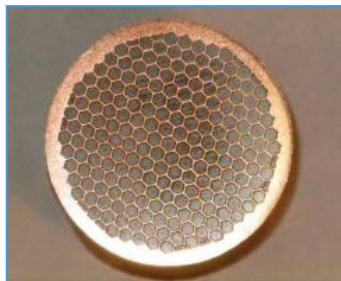




Продукция и технологии

ТУ-3517-002-90657761-2016

«Провод микропозиционный высокопрочный, высокоэлектропроводный круглый на основе сплава медь-ниобий»



Диаметр проводов от 0,03 мм до 12 мм

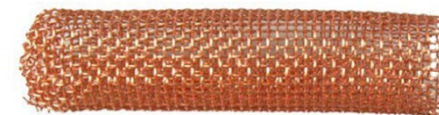
Достигнуты сочетания прочности и электропроводности:

Высокопрочные провода

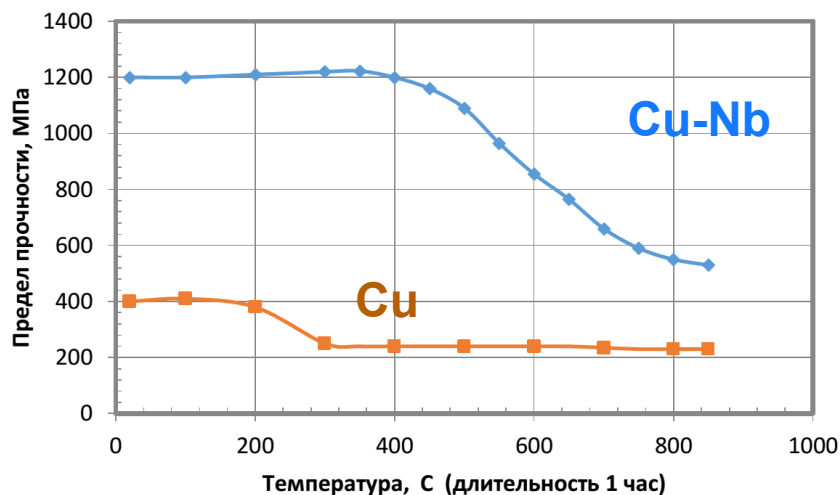
$\sigma_b = 1400-1500$ МПа и электропроводность ~ 55 % IACS,

Высокоэлектропроводные провода:

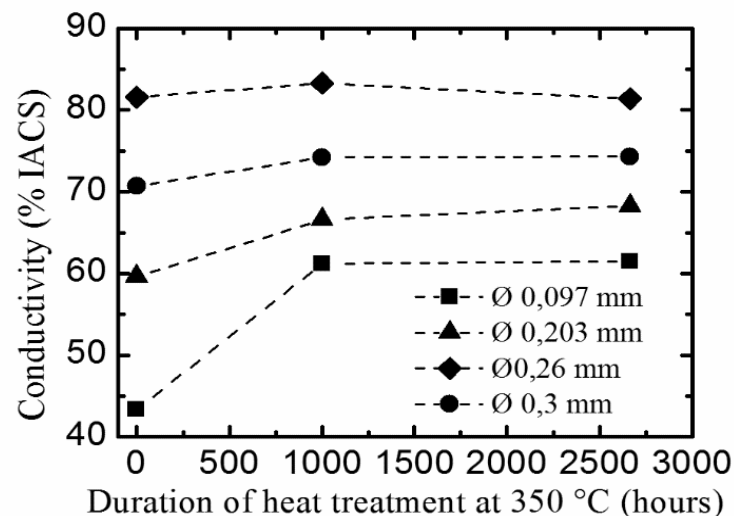
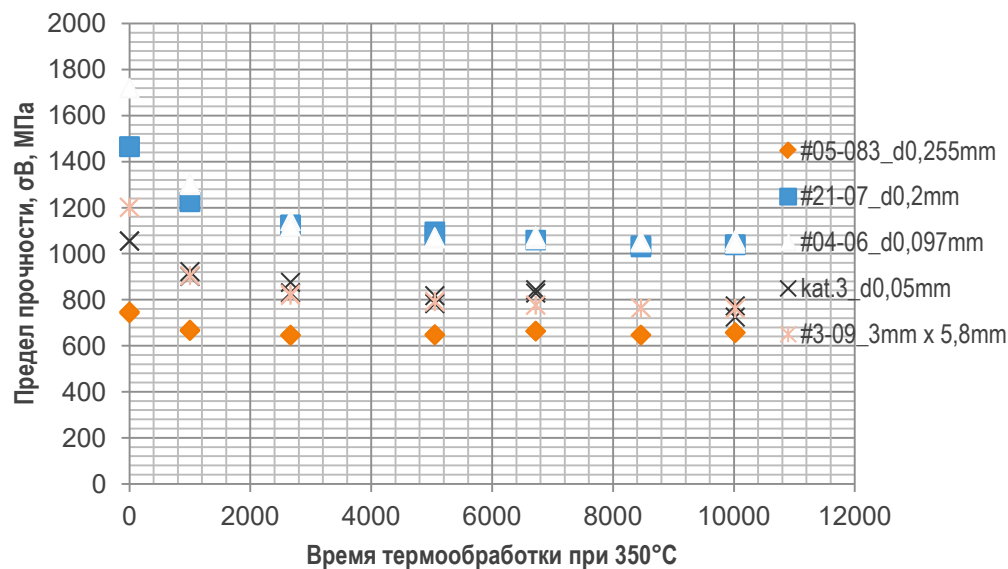
$\sigma_b = 800-900$ МПа и электропроводность ~ 83 % IACS.



Стабильность свойств Cu-Nb проводов при высоких температурах



Высокий уровень стабильности свойств связан с особенностями микроструктуры – относительно невысокая плотность дислокаций, наличие фрагментированной микроструктуры (особое строение границ межфазных и зеренных))



Аксиальные усталостные испытания на растяжение проводили на разрывной машине 100 kN MTS, задавая синусоидальную форму приложения нагрузки с частотой 10 Гц. Применяли знакопостоянное напряжение с коэффициентом асимметрии ($R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$) равным 0,1. При этом максимальное приложенное напряжение выбирали близким к пределу текучести



Высокая стойкость к изгибу проводов Cu-Nb

Проволока	Диаметр, мм	σв, МПа	Число перегибов
Cu-Nb	0,3	1411	1741
Cu	0,3	421	375

Тонкие провода выдерживают в 4-5 раз больше перегибов, благодаря упрочению сверхтонкими волокнами Nb



Обмоточный провод
3,0 x 5,8 мм
Скрутка в Ø 12,7 мм

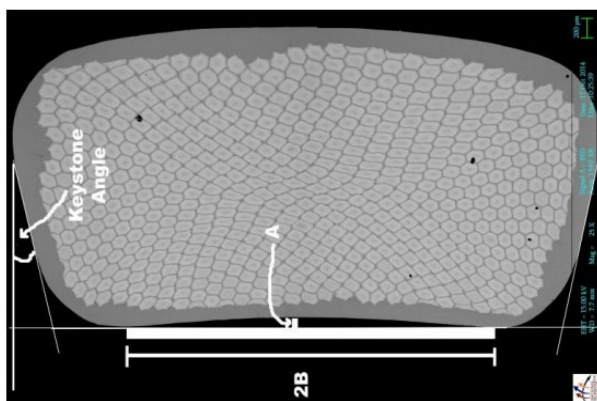
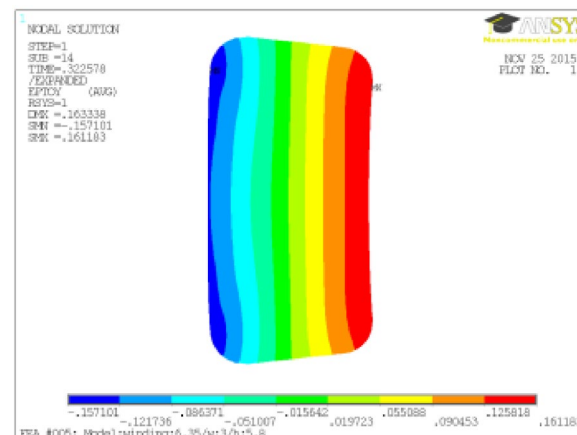


Fig. 3. SEM cross-section image showing the keystone shaped wires and



$$\varepsilon_{\theta}^o = \ln \left\{ 1 + \left(w / [w + 2R] \right) \right\}$$

Деформация растяжения на наружной поверхности провода

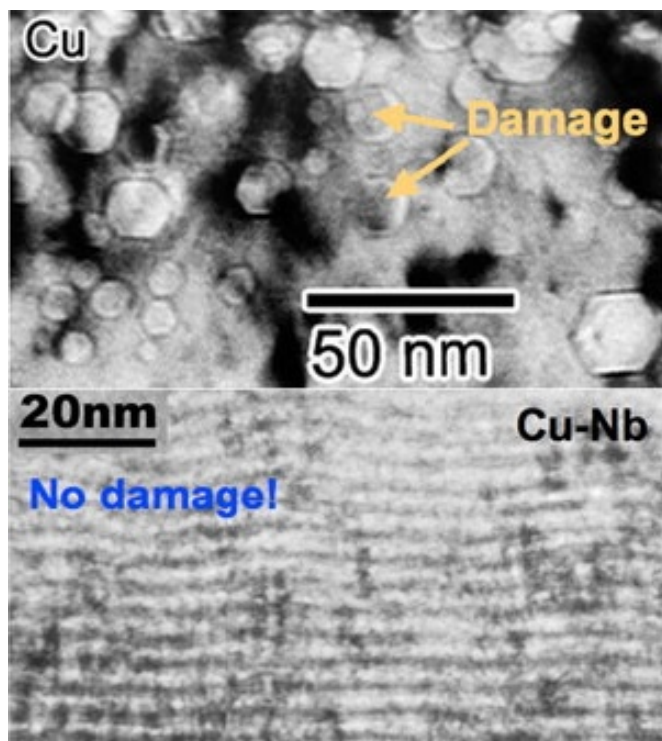
$$\varepsilon_{\theta}^i = \ln \left\{ 1 - \left(w / [w + 2R] \right) \right\}$$

Деформация сжатия на внутренней поверхности провода

При толщине провода (W) = 3,0 мм и при радиусе намотки (R) = 6,35 мм деформации изгиба

ε_{θ}^o ε_{θ}^i имеют величину 15-16%, что превышает величину относительного удлинения - 4%

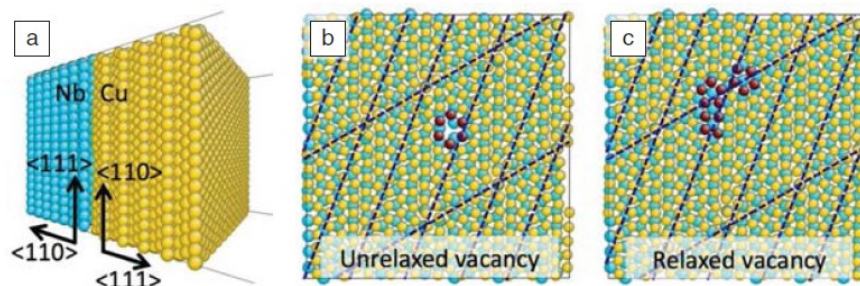
Наличие в наноструктурированном микрокомпозиционном проводнике системы Cu-Nb развитых, благоприятно ориентированных внутренних фазовых границ раздела обеспечивает аннигиляцию радиационных дефектов.



Проводники, выполненные из Cu-Nb микрокомпозиционного материала не подвержены деградации электропроводящих и механических свойств в процессе всего срока службы в ядерном острове реактора АЭС

Радиационные повреждения

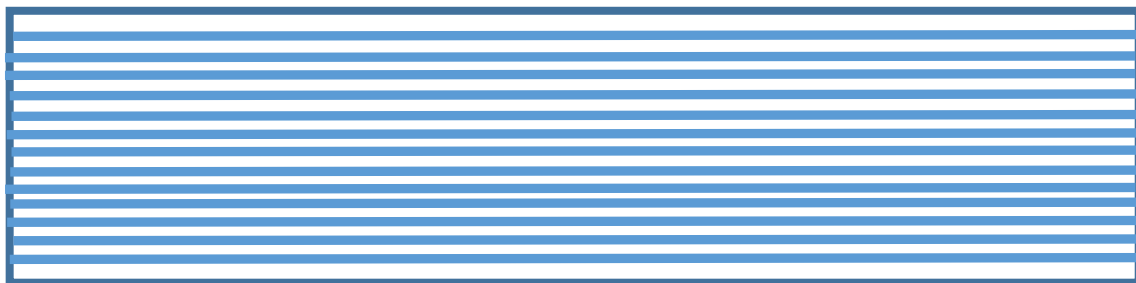
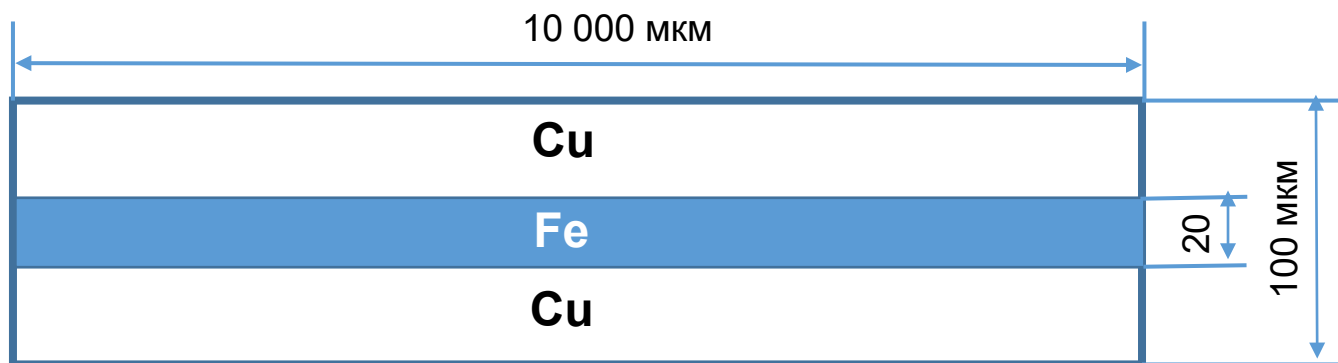
нет повреждений !



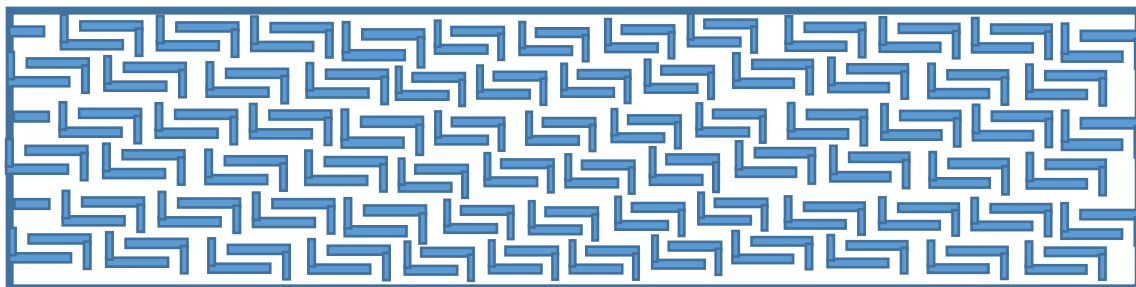
MIT, 2011

MRS BULLETIN • VOLUME 35 • DECEMBER 2010 • www.mrs.org/bulletin

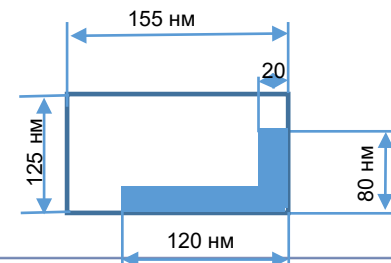
Ленточный микрокомпозиционный экран Cu-Fe

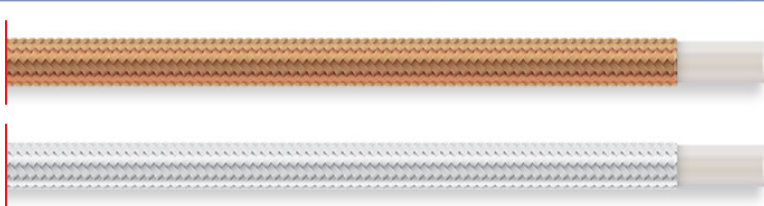


1000 пластин толщиной 20 нм из Fe, разделенных пластинами из Cu толщиной 80 нм



~ 50 млн элементов Cu-Fe



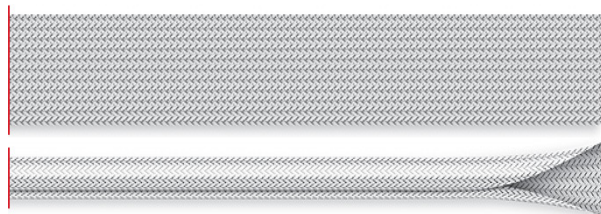


Размеры плетенки 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 32 мм.

Плетенки ПЭМ и ПЭМС могут изготавливаться в один или несколько слоев
Плотность каждого слоя плетенки не менее 90%.

Эффективность экранирования на частоте 30 МГц, от 45 до 80 дБ
в зависимости от диаметра и количества слоев плетенки.

Прочность применяемой проволоки превосходит медную в 3 раза.



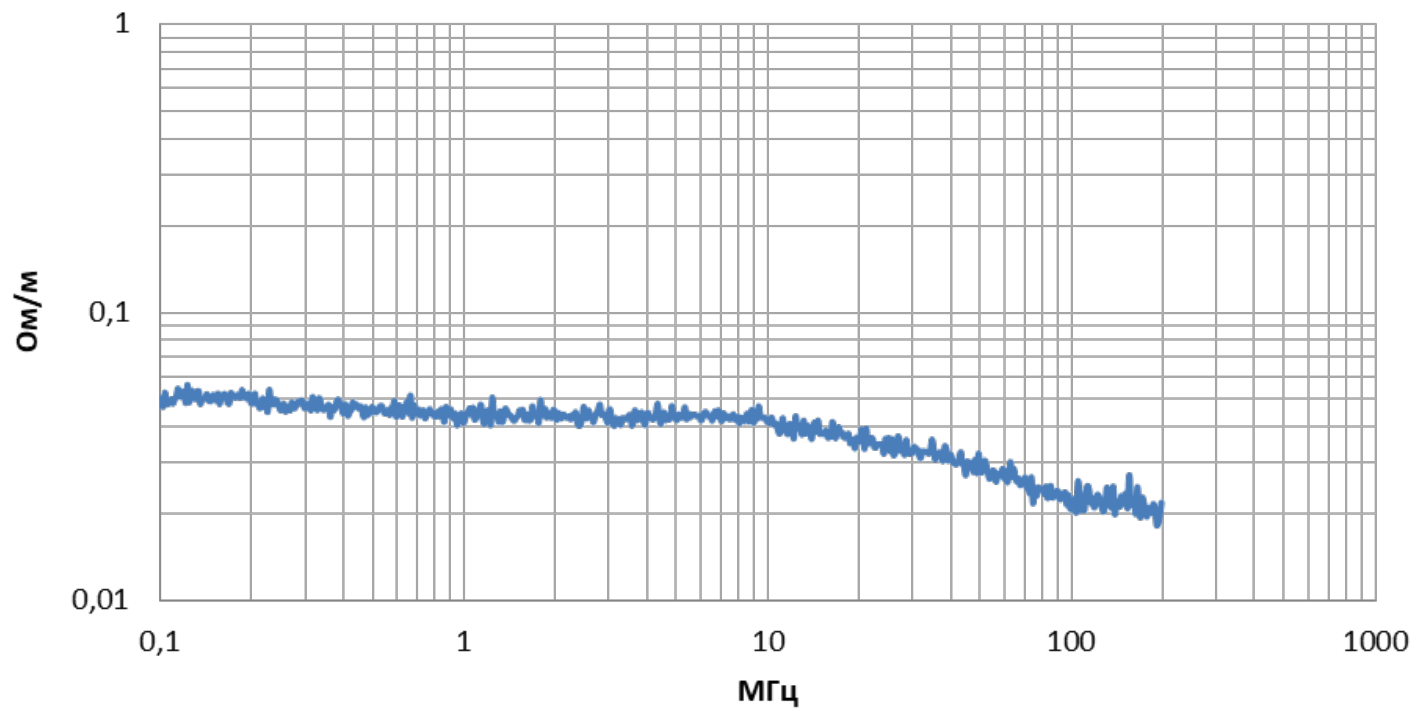
ТУ 4833-023-66158671-2018

Ширина ленты 10, 20, 25, 30, 40 мм.

Толщина ленты от 0,20 до 0,25 мм.

Плетенки ПЭМ и ПЭМС могут изготавливаться в один или несколько слоев по желанию заказчика.
Экранирующая способность ленты от ЭМИ при 50% перекрытии составляет не менее 65 дБ на частоте 30 МГц, и 58 дБ на частоте 30 МГц при применении ленты ЛЭМ МНБС либо ЛЭМ Мнбл.

ПЭМ МНБ 6-0,05



Разработаны и коммерчески доступны высокопрочные высокоэлектропроводные микрокомпозиционные провода на основе сплава Cu-Nb, которые могут быть использованы в системах экранирования различного типа кабелей.

Провода на основе сплава Cu-Nb обладают температурной стабильностью вплоть до 450 С, высокой радиационной стойкостью, высокой усталостной прочностью, благодаря волокнистому строению упрочняющего компонента, определенным образом ориентированного по отношению к матричному материалу.

Применение тонких и особо тонких микрокомпозиционных проводов с прочностью до 1500 МПа делает возможным снижение массы экрана, уменьшение диаметра кабеля без потери его эксплуатационных свойств.