



Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Выпускная квалификационная работа

Тема:

Высокопрочные литые микропровода в
стеклянной изоляции из сплавов
системы Ni-Cr-Mo

Студент: Сидоров Н.А.

Научный руководитель: Гюлиханданов Е.Л.

Научный консультант: Фармаковский Б.В.



Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.

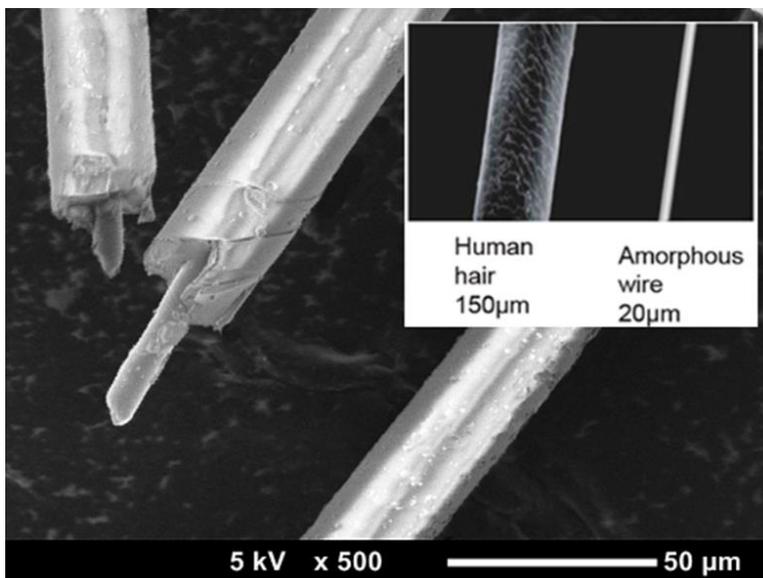


История микропровода

1924 г. – Г. Ф. Тейлор

1940 г. – Ф. А. Маковский

1948 г. – А. В. Улитовский



Микропровод в сравнении с человеческим
волосом



Алексей Васильевич
Улитовский



Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Применение микропровода

- Радиоэкранирующие и радиопоглощающие покрытия и материалы
- Прецизионные датчики, сенсоры и элементы сопротивления
- Метки систем защиты
- Миниатюрные катушки индуктивности, трансформаторы, дроссели
- Сенсоры взрывоопасных газов
- Армирование полимерных композитов
- И др.



Радиоэкранирующая
хлопчатобумажная ткань

Радиопоглощающий маскировочный
комплект



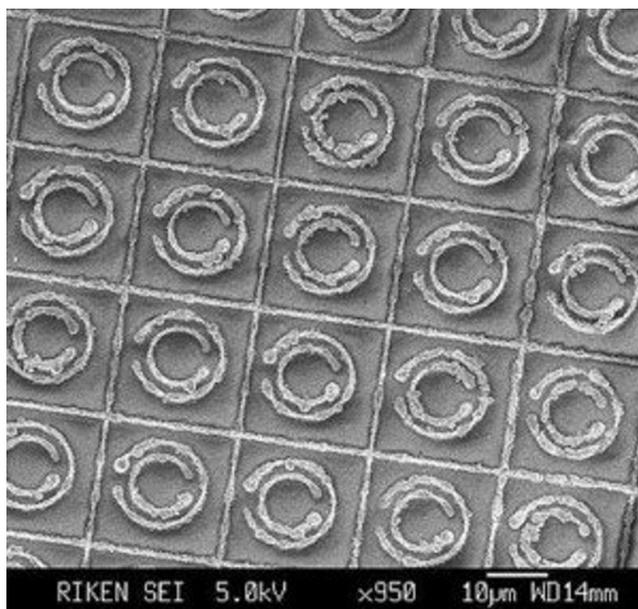
Источник: сайт ЦКБ специальных радиоматериалов



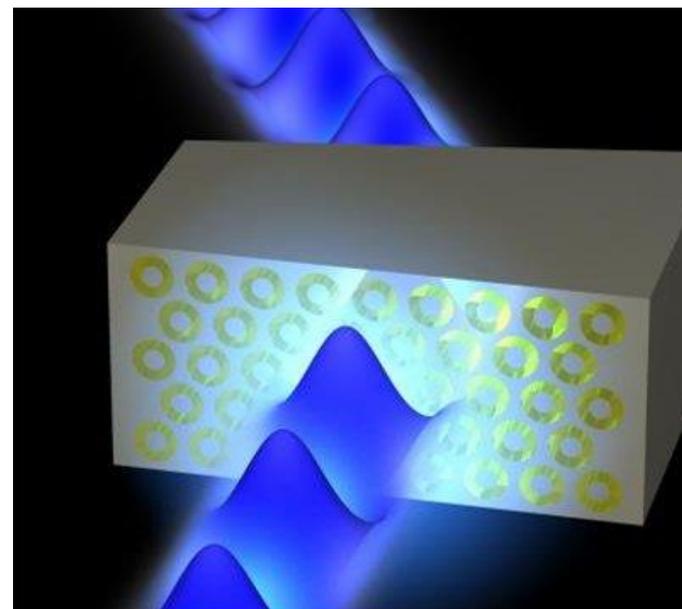
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Применение микропровода. Метаматериалы.



Макроструктура из
микропроводов



Пример работы
метаматериала

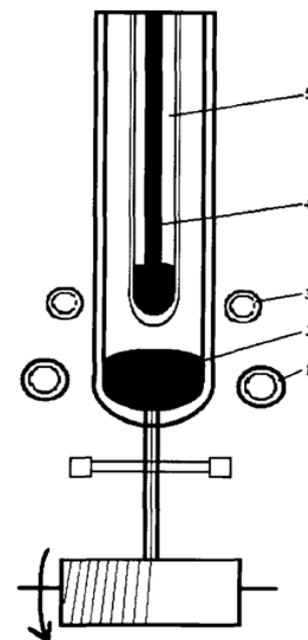
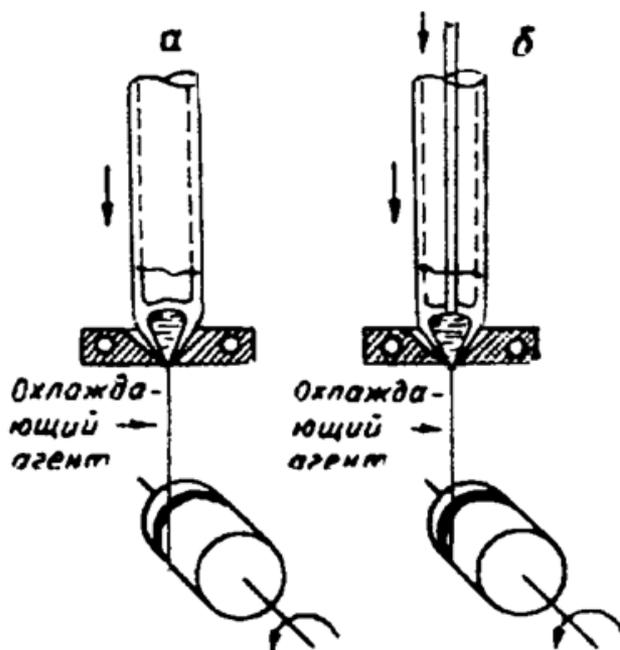


Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Получение микропроводов

- Метод А. В. Улитовского (а - капельный, б - непрерывный)
- Комбинированный метод (справа)





Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Микропровода из высокопрочных сплавов

Прочностные характеристики некоторых упрочняемых промышленных сплавов и микропроводов из них.

Сплав	Химический состав	Характер упрочняющей обработки	Свойства сплава		Свойства литых микропроводов			
			σ , МПа	ϵ , %	$d_{ж}$, мкм	P , гс	σ , МПа	ϵ , %
Элгилой	15%Ni + 40%Co, 15%Fe, 20%Cr, 7%Mo, 2%Mn, 0,03%Be	Деформация	>2500	-	8-10	6,0	800-1200	0,5
Проволока А	58%Ni, 22%Fe, 20%Mo, 0,005%С	Деформация	1050	До 50	8	2,5	500	5.0
Fe-Ni-Mo-Co	65%Fe, 13%Ni, 12%Mo, 10%Co	Старение по мартенситному механизму	2800	6	12,5	5,5	440	0,4-0,9

Прочностные характеристики некоторых упрочняемых промышленных сплавов и микропроводов из них.

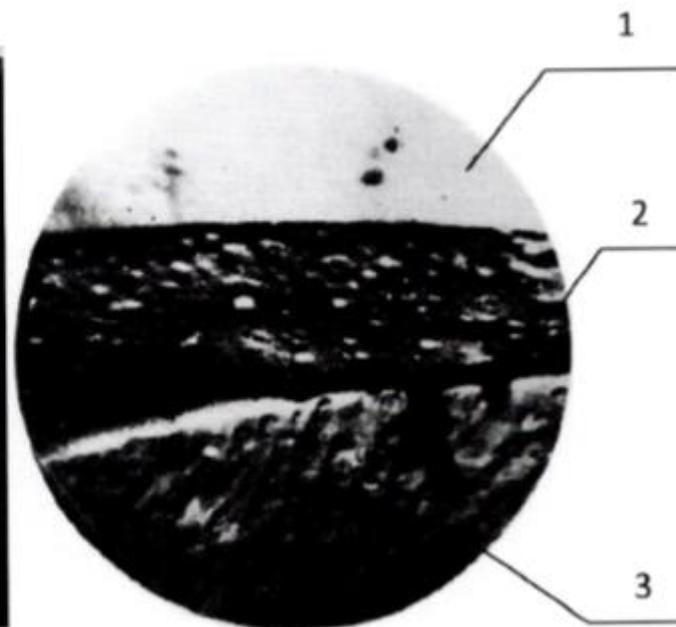
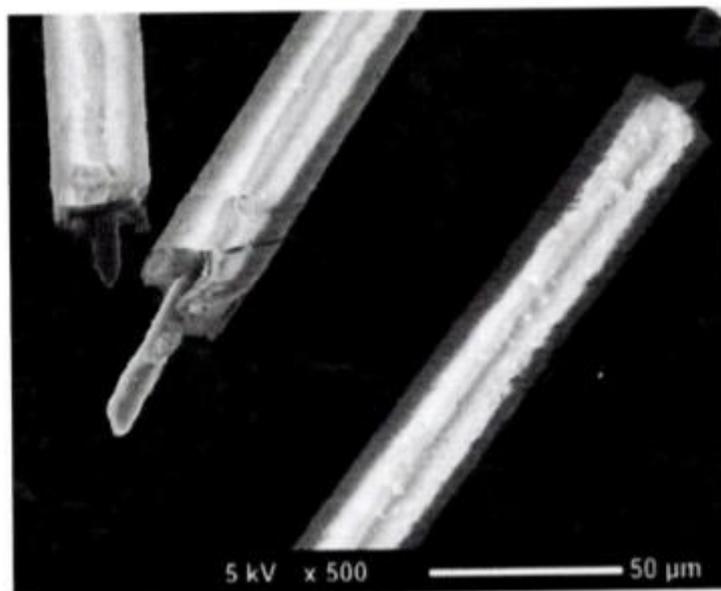
Сплав	Химический состав	Характер. упрочн. обработки	Хар-ка сплава		Характеристики литых микропроводов			
			σ_{ϵ} , МПа	ϵ , %	$d_{ж}$, мкм	P , г	σ_{ϵ} , МПа	ϵ , %
Проволока	W ($\emptyset 10$ мкм)	Деформ.	4000	1-4	-	-	-	-
Элгиллой	15%Ni+40%Co, 15%Fe, 20%Cr,7%Mo	Деформ.	>2500	-	8-10	6	1000	0,5
Проволока А	58%Ni, 22%Fe, 20%Mo	Деформ.	1050	<50	8	2,5	500	5
X17Г9АНЧ	-	Закалка	700	40	14	20	1200	5
ХН35ВТ	-	Дисп. тв	>750	>15	8	3	600	0,9
Fe-Ni-Mo-Co	65%Fe, 13%Ni,12%Mo, 10%Co	Старен. по м. механ.	2800	6	12	5,5	440	0,9



Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Внешний вид и структура переходного слоя
микропроводов из сплава системы Ni-Cr-Si-B



- 1 – стеклоизоляция
- 2 – переходный слой
- 3 – металлическая жила



Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.



Микропровода из высокопрочных сплавов

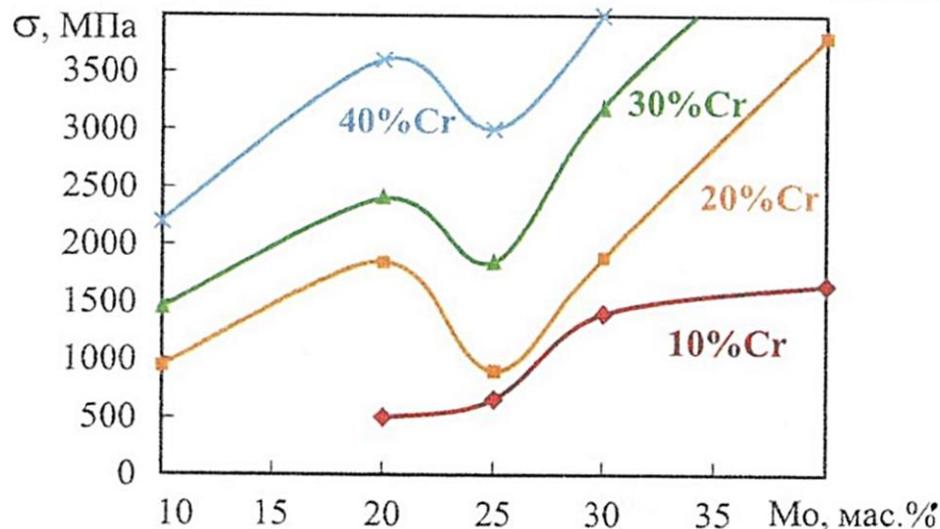
серия 1: 10%Cr; 10, 20, 25, 30 и 35%Mo; Ni – ост.

серия 2: 20%Cr; 10, 20, 25, 30 и 35%Mo; Ni – ост.

серия 3: 30%Cr; 10, 20, 25, 30 и 35%Mo; Ni – ост.

серия 4: 40%Cr; 10, 20, 25, 30 и 35%Mo. Ni – ост.

Влияние состава
опытных сплавов Ni-Cr-Mo
на прочность
микропроводов



Источник: Вопросы материаловедения. - 2016. - № 4(88)



Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.

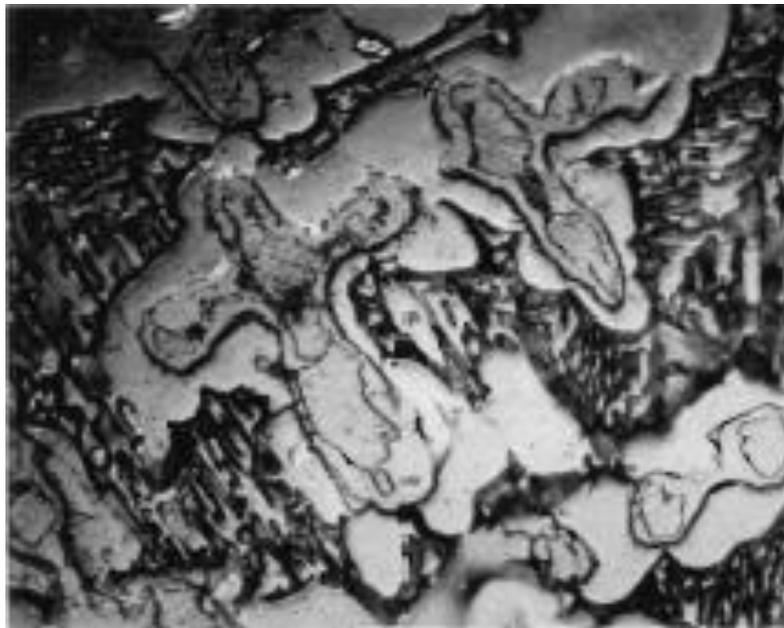


Фазы в сплаве Ni-Cr-Mo (увеличение x750)

Сплав 2%Cr; 61%Mo; 37%Ni. Литое состояние.

В центре крестов – α -Mo, окруженный P-фазой ($\text{Cr}_{18}\text{-Mo}_{42}\text{-Ni}_{40}$),
которая в свою очередь окружена δ -фазой (Ni-Mo).

Матрица – эвтектика, состоящая из δ -фазы и γ -Ni.





Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Микропровода из высокопрочных сплавов

Период решетки:

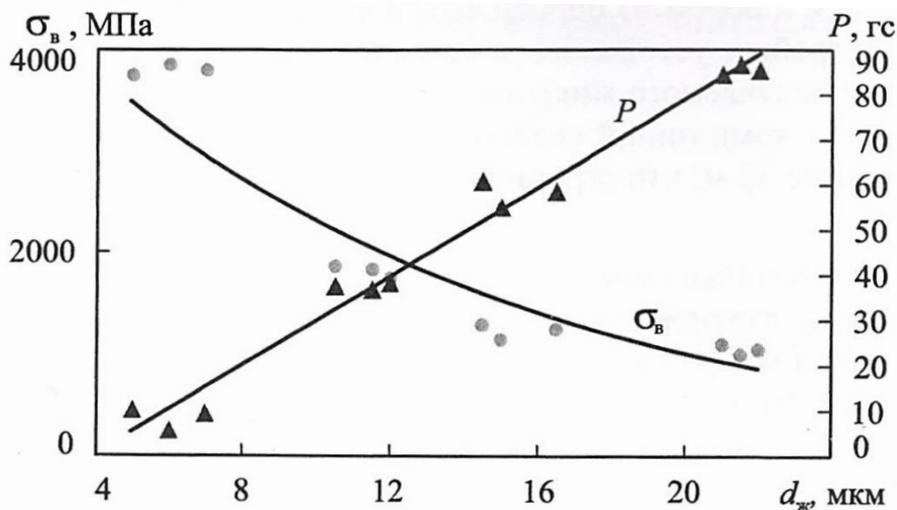
Сплав серии 1 – 3,59 Å

Чистый Ni (ГЦК) – 3,5169 Å

Оптимальный сплав:

20%Cr, 35%Mo, 1,5%Si, 0,3%B, 0,3%Zr, 0,6%Ce, Ni – ост.

$\sigma_B = 4500$ МПа; $\delta = 1,0-2,4\%$.



Временное сопротивление
разрыву литых
микропроводов из сплава
Ni-Cr-Mo-Si-B-Zr
(P - разрывное усилие)



Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.



Выпускная квалификационная работа

Тема:

Высокопрочные литые микропровода в
стеклянной изоляции из сплавов
системы Ni-Cr-Mo

Студент: Сидоров Н.А.

Научный руководитель: Гюлиханданов Е.Л.

Научный консультант: Фармаковский Б.В.



*Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого.*

