

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

---

КАФЕДРА №23

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

Старший преподаватель

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2**

**«Исследование свойств проводящих сплавов»**

по курсу: МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

СТУДЕНТ ГР. №

\_\_\_\_\_  
номер группы

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург  
2023

## Лабораторная работа №2

### «Исследование свойств проводящих сплавов»

1. **Цель работы:** изучение закономерностей изменения электрических свойств двухкомпонентных сплавов в зависимости от их состава.
2. **Описание лабораторной установки:**

Установка состоит из блока измерения (БИ), где расположены источник питания +12В, блок измерения температуры (БИТ), термостат, с установленными в нем образцами, вентилятор для принудительного охлаждения образцов, индикация режимов работы и температуры, средства коммутации (переключатели номера образца, режима работы, включения сети, включения термостата и принудительного охлаждения), а также RLC-блока, позволяющего измерить сопротивление всех образцов в реальном времени, согласно полученному заданию.

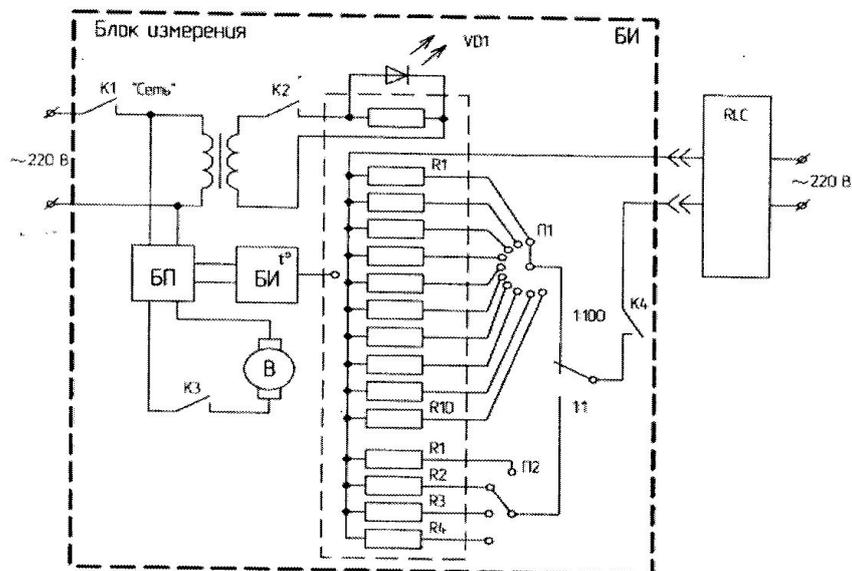


Рисунок 1- Внешний вид и схема измерения лабораторной работы 2

Перед включением установки в сеть убедиться, что тумблер включения сети K1, находящийся с правой стороны измерительного блока, и тумблер включения RLC-метра - в положении “Выкл”.

### 3. **Порядок выполнения работы:**

- 1) Включить в сеть RLC-метр и блок измерения (БИ).

2) Тумблер К2 на БИ в правом положении (термостат выключен), красный светодиод не горит.

3) Режим работы на БИ тумблер К4 - в нижнем положении.

4) Тумблер “множитель” - 1:100, 1:1 (среднее положение).

5) Переключатели П1 и П2 (номера образцов) – в положение R1.

6) Тумблер К3 (включение вентилятора)- ВЫКЛ (нижнее положение).

7) Включить питание БИ (тумблер К1,находящийся с правой стороны БИ,- в положение “вкл”, при этом загорается зеленый светодиод), переключить тумблер “множитель” в положение 1:100, убедиться, что температура образцов в пределах 20-25°C, предварительно включив индикацию температуры кратковременным нажатием кнопки на задней панели блока, в противном случае – приподнять крышку термостата вверх с помощью винта на крышке БИ и включить вентилятор, охладив образцы до заданных пределов.

8) Включить питание RLC-метра и выбрать режим измерения сопротивления на нем.

9) С помощью переключателя “N образца“ на БИ поочередно произвести измерение сопротивления 10 образцов при комнатной температуре (20-25) °С, после чего вернуть его в исходное положение, данные занести в таблицу 3.

10) Включить термостат БИ, положение переключателя К2 “ВКЛ” (загорается красный светодиод), 13 Переключить на БИ переключатель К4 “режим работы”- в положение 2, а множитель - в положение 1:1

11) Произвести поочередно измерения  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  через каждые 5°C до температуры 60°C и занести данные в таблицу 4 (образец 1-медь, образец 2- никель, образец 3- константан, образец 4- нихром).

12) Переключить на БИ переключатель К4 “режим работы”- в положение 1, а множитель - в положение 1:100, приподнять крышку

вентилятора (переключатель К2 во включенном состоянии, горит красный светодиод).

13) Произвести измерения сопротивления 10 образцов, аналогично п. 6.2.9, фиксируя при этом температуру, при которой произведено измерение для каждого образца. Данные занести в таблицу 3. Переключатель “N образца” в исходное положение, а множитель - в среднее положение.

14) Рассчитать значения удельного сопротивления  $\rho$  и температурного коэффициента сопротивления ТКС для каждого образца.

#### **4. Рабочие формулы:**

Основными электрическими свойствами металлов и сплавов являются: удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , мкОм; температурный коэффициент сопротивления ТКС, град<sup>-1</sup>.

Удельное электрическое сопротивление проводника конечной длины  $l$  и поперечного сечения  $S$  выражается известной зависимостью

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} (\text{Ом} \cdot \text{м}) \quad (1)$$

Удельное сопротивление проводниковых материалов невелико и лежит в пределах 0,016-10 мкОм.м.

Величина, оценивающая рост сопротивления материала при изменении температуры на один градус, получила название температурного коэффициента электрического сопротивления *ТКС*:

$$TKC = \left( \frac{1}{R_1} \right) \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{(T_2 - T_1)}, \frac{1}{град} \quad (2)$$

где  $R_1$ - сопротивление образца, измеренное при температуре  $T_1$ ;  $R_2$ - сопротивление того же образца, измеренное при температуре  $T_2$ .

## 5. Таблица результатов измерений:

Таблица 1 - Исследование зависимости  $\rho$  и ТКС от состава сплава

№ образца	% состав			$R1$ , Ом	$T1$ , °C	$R2$ , Ом	$T2$ , °C	$\rho$ , мкОм·м	ТКС, 1/град.
	Ag	Cu	Ni						
1	100	0	-	0,4429	18,3	0,5637	39,2	0,0117	0,0131
2	80	20	-	0,6248	18,3	0,7382	39,2	0,0165	0,0087
3	60	40	-	0,7512	18,3	0,8397	41,2	0,0199	0,0051
4	40	60	-	0,8331	18,3	0,8775	42,2	0,022	0,0022
5	20	80	-	0,8594	18,3	0,9155	42,5	0,0225	0,0027
6	0	100	0	0,8794	18,3	0,9157	43,1	0,0233	0,0017
7	-	80	20	9,280	18,3	9,52	44,2	0,2432	0,0010
8	-	60	40	15,07	18,3	15,25	45,4	0,399	0,0004
9	-	20	80	12,07	18,3	13,00	45,5	0,3798	0,0028
10	-	0	100	1,11	18,3	1,27	45,5	0,0294	0,0053

Длина проводника  $L=2\text{м}$ ; сечение  $S=0,053$  мм<sup>2</sup>.  $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$ ;  $TKC = \frac{1}{R1} \cdot \frac{R2 - R1}{T2 - T1}$ .

## 6. Примеры расчётов:

Удельное электрическое сопротивление:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} = \frac{0,4429 \cdot 0,053}{2} = 0,0117 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$$

Температурный коэффициент электрического сопротивления:

$$TKC = \frac{1}{R1} \cdot \frac{R2 - R1}{T2 - T1} = \frac{1}{0,4429} \cdot \frac{0,5637 - 0,4429}{39,2 - 18,3} = 0,0131 \text{ 1/град}$$

## 7. Графики зависимостей $\rho$ и ТКС от состава сплавов для систем Cu-Ag и Cu-Ni:

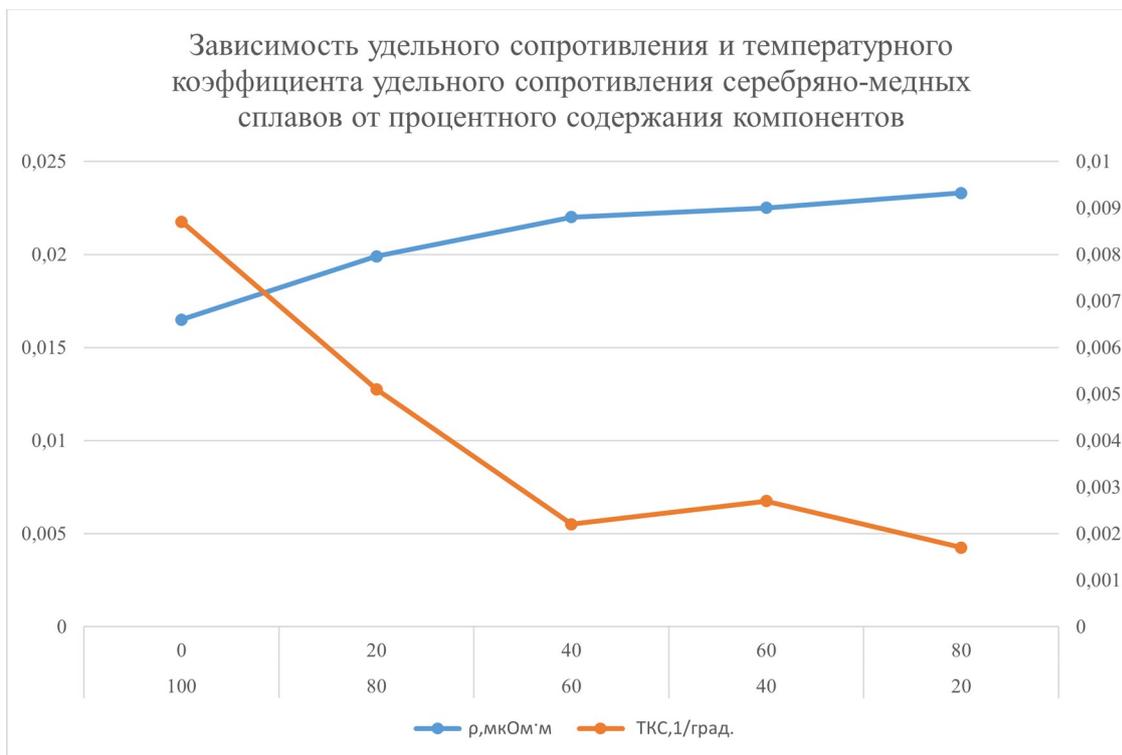


Рисунок 2 - Зависимость удельного сопротивления и температурного коэффициента удельного сопротивления серебряно-медных сплавов от процентного содержания компонентов

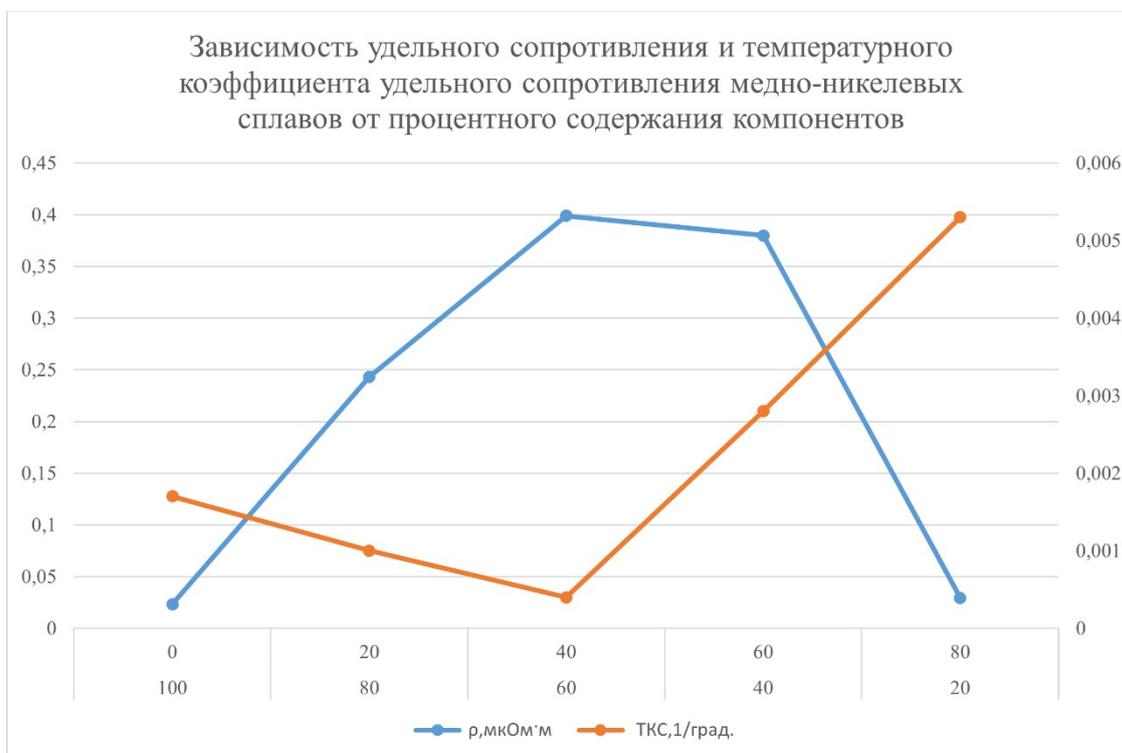


Рисунок 3 - Зависимость удельного сопротивления и температурного коэффициента удельного сопротивления медно-никелевых сплавов от процентного содержания компонентов

## **8. Свойства двухкомпонентных сплавов Cu-Ag и Cu-Ni в зависимости от их состава:**

### *1) Серебряно-медные сплавы.*

Медь – единственный металл, с которым серебро образует простую эвтектику между двумя ярко выраженными твёрдыми растворами с ограниченной растворимостью. Эвтектическая находится при содержании меди 28,5% и температуре 779°С. Структура до эвтектических сплавов, содержащих более 71,5% серебра, состоит из обогащённых медью первичных кристаллов  $\alpha$  – твёрдого раствора, окружённого эвтектикой. Структура эвтектических сплавов, содержащих менее 71,5 % серебра, состоит из обогащённых медью первичных кристаллов  $\beta$  –твёрдого раствора, окружённого эвтектикой. В сплавах, содержащих более 91,2% серебра, образуется однородный  $\alpha$  – раствор, а в содержании менее 8% серебра – однородный  $\beta$  – твёрдый раствор. Поскольку растворимость металлов в твёрдом состоянии с понижением температуры резко уменьшается и избыточный металл выделяется из твёрдого раствора, то структура практически любого серебряного сплава состоит из двух фаз.

Значительная зависимость растворимости компонентов от температуры обеспечивает возможность дисперсионного упрочнения сплавов. Процессы выделения в твёрдом состоянии способствуют повышению твёрдости, особенно в сплавах, лежащих в пограничных областях твёрдых растворов и заэвтектических сплавов, как, например, в сплавах 916 – й и 925 – й проб. При необходимости получения после литья или отжига мягких сплавов их следует подвергать закалке; с другой стороны, нагревом до определённой температуры можно достигнуть существенного повышения их твёрдости.

Серебрено – медные сплавы 750 – й пробы, а также стандартные сплавы 960, 925, 916, 875, 800 – й проб имеют высокую пластичность, ковкость и тягучесть.

С повышением содержания меди (до 28%) твёрдость и прочность сплавов серебро – медь повышается, а пластичность падает. Это практически означает, что хотя сплавы с высоким содержанием серебра хорошо деформируются при обработке давлением, но изделия из них при употреблении легко искривляются и изнашиваются.

Стойкость сплавов системы Ag – Cu и кислотам почти одинакова, так как оба исходных металла в равной степени устойчивы против важнейших кислот. Сплавы серебра легко растворяются в азотной и концентрированной серной кислотах, в то время как в разбавленной серной кислоте (наиболее распространённом травителе) они не растворяются. Однако даже чистое серебро неустойчиво на воздухе. Вследствие образования чёрного сульфида серебра Ag<sub>2</sub>S сплав тускнеет. С увеличением содержания меди в сплаве

химическая стойкость последнего на воздухе уменьшается, так как серные и аммиачные соединения меди приводят к потемнению сплава.

Цвет серебра с увеличением содержания меди становится всё более желтоватым. Сплав серебра с 50% меди становится красноватым, а с 70% меди имеет красный цвет.

В отличие от других благородных металлов серебро растворяет кислород и практически не растворяет водород. При температуре плавления равновесная растворимость кислорода составляет около  $208^3$  см на 100 г.

С понижением температуры растворимость кислорода в расплаве резко снижается. Из-за распада оксида серебра происходит выделение кислорода, которое сопровождается разбрызгиванием металла. Степень разбрызгивания иногда служит грубым показателем степени окисленности серебра. Температура, при которой происходит разбрызгивание металла, не зависит от скорости охлаждения и содержания кислорода в расплаве.

Термодинамическим расчётом установлено, что давление кислорода в металле при разбрызгивании может достигать 5 Мпа. Выделение кислорода при затвердевании серебра может приводить к образованию газовых пор в отливках; степень газовой пористости зависит от концентрации растворённого кислорода в кристаллизирующемся расплаве.

Азот практически нерастворим ни в твёрдом, ни в жидком серебре. Углерод в серебре при температуре плавления способен растворяться в небольших концентрациях  $6 \cdot 10^{20}\%$  (ат.). О растворимости серы в жидком серебре точных данных не имеется.

Сплавы серебра с медью подвержены обратной ликвации, которая приводит к обогащению медью наружных слоёв отливок. Медь, входящая в состав большинства серебряных сплавов, также значительно повышает растворимость кислорода и водорода в расплавах. Так, при  $1200^\circ\text{C}$  в серебре, содержащем 10% меди, растворимость кислорода может повыситься в 25 раз по сравнению с растворимостью в чистом серебре. Поэтому плавку серебряных сплавов ведут с применением защитных покровов из древесного угля, жидких флюсов или комбинированных (древесный уголь + жидкий флюс) покрытий. В тоже время золото и платина снижают растворимость кислорода в сплавах на основе серебра.

Медь с присадкой серебра применяется для обмоток быстроходных и нагревостойких машин большой мощности, а медь, легированная различными элементами, используется в коллекторах и контактных кольцах сильно нагруженных машин.

## *2) Медно-никелевые сплавы.*

К медно-никелевым сплавам относятся сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является никель. Легирование

меди никелем значительно повышает ее механические свойства, коррозионную стойкость, термоэлектрические характеристики. Промышленные медно-никелевые сплавы можно условно разделить на две группы: конструкционные и электротехнические. К первой группе относятся коррозионно-стойкие и высокопрочные сплавы типа мельхиор, нейзильбер и куниаль. В качестве дополнительных легирующих элементов в них добавляют марганец, алюминий, цинк, железо, кобальт, свинец, а также хром, церий, магний, литий.

Мельхиоры имеют высокую коррозионную стойкость в различных средах - в пресной и морской воде, в органических кислотах, растворах солей, в атмосферных условиях. Добавки железа и марганца увеличивают стойкость медно-никелевых сплавов против ударной коррозии. Являясь твердыми растворами, мельхиоры обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии.

Сплавы на основе меди, в которых основными легирующими компонентами являются никель и цинк, называются нейзильберами. Они представляют собой твердые растворы на основе меди. Легирование цинком приводит к повышению механических свойств медно-никелевых сплавов и приданию им красивого серебристого цвета и удешевлению. Нейзильберы отличаются высокой коррозионной стойкостью: не окисляются на воздухе, сравнительно устойчивы в органических кислотах и растворах солей. Нейзильберы обрабатываются давлением в горячем (за исключением свинцовистого нейзильбера) и в холодном состоянии. Небольшое количество свинца вводится для улучшения обработки резанием.

Сплавы на основе тройной системы Cu-Ni-Al называют куниалями. Эти сплавы отличаются высокими механическими и упругими свойствами, коррозионной стойкостью, устойчивостью при низких температурах. Обрабатываются давлением в горячем состоянии.

Согласно диаграмме состояния предел растворимости  $\alpha$ -твердого раствора на основе меди резко уменьшается с понижением температуры. Поэтому куниали относятся к дисперсионно-твердеющим сплавам. Они упрочняются после термической обработки, заключающейся в закалке с 900-1000 °C в воду и старении при 500-600 1-2 ч. При старении происходит распад пересыщенного твердого раствора с образованием двух- или трехфазной структуры с мелкодисперсными выделениями  $\theta$ -фазы, представляющей собой соединение NiAl, или одновременно  $\theta$ - и  $\rho$ -фазы, представляющей собой соединение NiAl<sub>2</sub>.

К конструкционным медно-никелевым сплавам также относятся сплавы МН95-5 и МНЖ5-1, обладающие высокими механическими свойствами и коррозионной стойкостью, они не склонны к коррозионному растрескиванию.

Были предложены новые группы дисперсионно-твердеющих сплавов на основе системы Cu-Ni. Это сплавы для токоведущих пружин, работающих при высоких температурах (до 250 °C) состава: 1) Ni (15-20)%, Cr (3,5-4)%, Mn (2,1-3)%, V (0,01-0,5)%, Ce (0,01-0,05) %, остальное Cu; после

термической обработки (закалка + старение) сплав имеет следующие свойства: 370HV;  $\sigma_b = 1250$  МПа;  $\delta = 3\%$ ; 2) Ni (4-4,5)%, Si (0,8-1,2)%, Cr (0,4-0,6) %, Al (0,7-1,1)%, Mg (0,3-0,6) %, Li (0,005-0,04)%; остальное Cu; после термической обработки (закалка + старение): 310 HV;  $\sigma_b = 1000$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 930$  МПа;  $E = 130$  ГПа;  $\sigma_{упр} = 825$  МПа; электропроводность составляет 20 % электропроводности меди.

Разработана принципиально новая группа сплавов типа нейзильбер с двухфазной (a + в) структурой, например сплав Cu-15% Ni -37,5% Zn. К этим сплавам применяется обработка «микродуплекс», заключающаяся в закалке с последующей холодной деформацией с заданной степенью обжатия, определяющей возможность прохождения рекристаллизации при старении с одновременным выделением в-фазы.

Выделение в-фазы облегчает зарождение рекристаллизованных зерен вследствие обеднения пересыщенного твердого раствора и тормозит их рост благодаря снижению энергии их границ. В результате такой обработки образуются сверхмелкие зерна и мельчайшие выделения второй фазы, что приводит к росту механических свойств, особенно предела усталости, а при старении приобретает сверхпластичность.

## **9. Вывод:**

В данной лабораторной работе рассматриваются две группы сплавов, имеющие разный фазовый состав.

К первой группе относят такие сплавы, компоненты которых А и В неограниченно растворяются друг в друге, постепенно заменяя друг друга в узлах кристаллической решетки, образуют непрерывный ряд твердых растворов от одного чистого компонента сплава до другого. Любой сплав этого типа в твердом состоянии является однофазным, состоит из одинаковых по составу зерен данного твердого раствора. В нашем случае сплавом твердого раствора является система медь-никель Cu-Ni.

Ко второй группе относятся сплавы, компоненты которых практически не растворяются друг в друге, каждый из компонентов образует свое собственное зерно. Сплав в твердом состоянии является двухфазным; такие сплавы получили название механических смесей. В качестве сплава типа механических смесей здесь выступает система медь-серебро Cu-Ag.

При образовании сплавов типа механических смесей свойства меняются линейно и являются средними между значениями свойств чистых компонентов, что можно заметить на Рисунке 2. При образовании сплавов типа твердых растворов свойства меняются по кривым с максимумом и минимумом, которые можно определить с помощью Рисунка 3.

Основными электрическими свойствами металлов и сплавов являются: удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , мкОм; температурный коэффициент сопротивления ТКС, град<sup>-1</sup>.

Можно сделать вывод, что удельное электрическое сопротивление  $\rho$  зависит в основном от двух факторов: во-первых, от наличия термических колебаний кристаллической решетки, которые усиливаются с температурой, приводя к росту сопротивления, и, во-вторых, от присутствия примесей, наличия границ зерен и других дефектов кристаллической структуры.

Так, например, если рассматривать график зависимости удельного сопротивления медно-никелевых сплавов от процентного содержания компонентов (Рисунок 3), то можно заметить явную зависимость от концентрации веществ: максимум кривой соответствует максимуму значения удельного сопротивления при соотношении Cu/Ni=50%/50%.