

Über die Abhängigkeit des Widerstandes reiner Metalle von der Temperatur. (II. Teil.)

Von L. Holborn in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

(Eingegangen am 24. November 1921.)

Die Messung der Abhängigkeit des Widerstandes reiner Metalle von der Temperatur, die ich früher angestellt habe¹⁾, bezog sich auf eine Reihe von Proben, bei denen eine große Reinheit angestrebt worden war, um dem Grenzwert, welchem sich der Widerstandskoeffizient eines Metalls mit wachsender Reinheit nähert, möglichst nahe zu kommen. Nur für Nickel lag damals die übliche Handelsware vor, so daß der Widerstandskoeffizient für dieses Metall viel zu klein ausfallen mußte. Ich habe inzwischen reinere Proben erhalten und an ihnen die Messungen wiederholt, wobei mich Herr Schrickel unterstützte. Gleichzeitig sind diese auf reines Kobalt und auf eine neuerdings hergestellte reine Probe Aluminium ausgedehnt worden.

Die bisher vorliegenden Messungen, die an nicht besonders reinem Nickel angestellt worden sind, lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß der Widerstandskoeffizient des reinen Metalls ebenso wie der des reinen Eisens den der unmagnetischen Metalle bedeutend übertrifft. Die Beobachtungen haben diese Vermutung bestätigt. Sie ergaben für den mittleren Widerstandskoeffizienten des Nickels zwischen 0 und 100° als Höchstwert den Betrag 0,0067, der noch etwas größer ist als der für reines Elektrolyteisen beobachtete.

Kobalt, von dem bisher nur ganz niedrige Werte vorlagen, weil dieses Metall nur in wenig reinem Zustande dargestellt worden ist, lieferte näherungsweise denselben Wert, der also allen drei ferromagnetischen Metallen in gleicher Weise zukommt.

Die untersuchte neue Aluminiumprobe ergab keinen größeren Widerstandskoeffizienten als das weniger reine Ausgangsmaterial, aus dem sie hergestellt worden war. Diese Tatsache steht im Widerspruch mit den Erfahrungen, die man bei anderen Metallen gemacht hat, wo stets der Widerstandskoeffizient mit der Zunahme der Reinheit zunimmt. Offenbar übt die Art der Verunreinigung bei Aluminium einen großen Einfluß aus. Besonders dem Kohlenstoff schreibt

¹⁾ L. Holborn, Ann. d. Phys. 59, 145, 1919.

man neuerdings¹⁾ in dieser Beziehung große Wirkung zu. Bei der Schwierigkeit, welche der Nachweis geringer Beimengungen dieses Stoffes der chemischen Analyse bietet, muß diese Frage noch offen bleiben. Ein etwa vorhandener Kohlenstoffgehalt war bei den untersuchten Aluminiumproben jedenfalls äußerst gering.

Nickel. Es standen drei Sorten von Nickelpulvern von großer Reinheit zur Verfügung. Die eine verdankt die Reichsanstalt der Firma Heraeus; sie wurde von Herrn Dr. Rohn hergestellt; die beiden anderen lieferte die Chemische Fabrik C. A. F. Kahlbaum.

Geschmolzen wurde das Metallpulver unter Vakuum in einem Rohr aus Quarzglas, das sich in einem elektrischen Ofen befand. In der Nähe des Schmelzpunktes ist das Quarzglas schon so weich, daß dünnwandige Rohre vom Luftdruck zusammengedrückt werden.

Jeder Versuch, das auf diese Weise geschmolzene Nickel zu Draht zu ziehen, mißlang. Deshalb wurden aus den Schmelzkörpern mit Säge und Feile kleine Widerstände herausgeschnitten. Wenn an ihre Enden doppelte silberne Zuleitungen angeschmolzen wurden, genügten diese Metallstückchen vollständig zur genauen Messung des Widerstandskoeffizienten in einem weiten Temperaturgebiet.

Die Verarbeitung von Nickelpulver zu größeren Drahtlängen verdanke ich der Freundlichkeit der Herren Dr. Mey und Dr. Friederich von dem Glühlampenwerk der A. E. G. Sie stellten den Draht in ähnlicher Weise her, wie die Wolframfäden für die Glühlampen. Die Reinheit blieb dabei noch nicht immer in gleicher Weise erhalten, so daß der Widerstandskoeffizient des Drahtes der Erwartung mehrfach nicht entsprach. Namentlich veränderte die Aufnahme von nur wenig Silicium die elektrischen und mechanischen Eigenschaften bedeutend. Der reine Draht, ohne weiteres kenntlich an dem großen Widerstandskoeffizienten, war vollkommen weich und biegsam.

Untersucht wurde zuerst die Sorte Nickel I, welche schon vor längerer Zeit von Kahlbaum bezogen und von Herrn Mylius im chemischen Laboratorium noch weiter gereinigt war. Drei Proben davon wurden getrennt geschmolzen und sodann der mittlere Widerstandskoeffizient $\alpha_{0,100}$ zwischen 0 und 100° der einzelnen Schmelzstücke gemessen. Nach den früheren Erfahrungen ist dieser Wert $\alpha_{0,100}$ für den ganzen Verlauf der Widerstandskurve maßgebend. Im folgenden sind die Werte angegeben neben dem Betrag der Verunreinigung, welche Herr Mylius bei der Analyse der geschmolzenen Stücke fand:

¹⁾ R. Apt, Elektrot. ZS. 40, 265, 1919.

Nickel 100 $\alpha_{0,100}$	I A 0,6657	I B 0,6600	I C 0,6569
Verunreinigung . . Proz.	0,05 Co	0,09 Co	0,15 Co
	0,01 Cu	0,01 Cu	0,01 Cu
	0,005 Fe	0,006 Fe	0,005 Fe
	0,006 Pt	—	—
	Spur Si	Spur Si	Spur Si

Ein anderer Teil I D derselben Sorte, der in der beschriebenen Weise zu Draht von 0,3 mm Durchmesser verarbeitet war, ergab im gezogenen Zustande:

Nickel 100 $\alpha_{0,100}$	I D 0,6300
Verunreinigung . . Proz.	0,3 Co
	Spur Cu
	0,1 Fe
	0,05 Si

Die Verunreinigung der zweiten Sorte Nickelpulver, als II bezeichnet, welche erst in diesem Jahre als Nickel „Kahlbaum“ von dieser Firma geliefert wurde, betrug nach der Analyse des Herrn Mylius 0,05 Proz.: 0,042 Fe, 0,013 Si, eine Spur Cu und 0,00 Co. Für ein Schmelzstück ergab sich:

100 $\alpha_{0,100}$ zu 0,673.

Die zu Draht verarbeitete Probe hatte Verunreinigungen aufgenommen; sie wies den kleineren Wert 0,542 auf.

Auch das Heraeus'sche Nickelpulver hat Herr Mylius vor dem Gebrauch analysiert. Die Verunreinigung betrug höchstens 0,05 Proz., wovon je auf Kobalt, Eisen, Aluminium kaum 0,01, auf Silicium kaum 0,02 Proz. entfielen. Fünf Proben, die getrennt zu Draht verarbeitet wurden, ergaben die folgenden Werte; die angegebene Verunreinigung bezieht sich auf den gezogenen Zustand.

Nickel 100 $\alpha_{0,100}$	III A 0,513	III B 0,675	III C 0,481	III D 0,672	III E 0,645
Verunreinigung . Proz.	0,33 Si	—	0,46 Si 0,12 Fe	0,006 Si 0,01 Fe	0,18 Si Spur Fe
Drahtstärke. . . mm	0,5	0,25	0,25	0,2	0,2

Kobalt. Von Kobalt wurden ebenfalls zwei Sorten Pulver der Untersuchung unterworfen, die aus denselben beiden Bezugsquellen wie die Nickelproben stammten. Aus dem Heraeus'schen Kobalt, als I bezeichnet, stellte die A. E. G. einen Draht her, der härter als der Nickeldraht war. Der Grund liegt darin, daß dieses Kobaltpulver einerseits von Hause aus nicht ganz so rein war wie das Nickel und andererseits wohl auch bei der Bearbeitung noch mehr Verunreinigungen aufgenommen hatte.

Vom Kobalt „Kahlbaum“, als II bezeichnet, wurden verschiedene Proben im Vakuum eines Quarzglasrohres geschmolzen. Hierbei bildete sich bei Berührung des Metalls mit der Rohrwandung freilich blaue Smalte. Doch scheint sich diese wenig mit dem Metall zu mischen. Versuche dagegen, das Metall unter Vakuum in einem Rohr aus Graphit oder Magnesia zu schmelzen, führten nicht zum Ziel. Beide Stoffe werden vom Metall angegriffen, das namentlich nach dem Schmelzen im Graphitrohr einen sehr kleinen Widerstandskoeffizienten aufwies. Noch kleinere Zahlen finden sich allerdings in den spärlichen Literaturangaben, die auf starke Unreinheit der früher untersuchten Kobaltproben schließen lassen.

Die Messungen ergaben für den Draht I und das Schmelzstück II:

Kobalt	I	II
100 $\alpha_{0,100}$	0,5922	0,658
Drahtstärke . . . mm	0,25	—

Die reineren Proben von Nickel und Kobalt wurden noch in einem größeren Temperaturgebiet gemessen, wobei sich für das Widerstandsverhältnis R/R_0 die folgenden Werte ergaben, die mit den früher für das Elektrolyteisen Fe I erhaltenen zusammengestellt sind. Wie man sieht, bilden die drei Metalle nicht allein wegen ihrer magnetischen Eigenschaften eine besondere Gruppe. Auch der Widerstandskoeffizient ist viel größer als der aller übrigen Metalle. Um zu entscheiden, ob dem Unterschied zwischen den Werten für Eisen,

Widerstandsverhältnis R/R_0 .

	— 192°	+ 100°	+ 200°	+ 300°	+ 400°	+ 500°
Fe I	0,1003	1,6572	2,4726	3,4897	4,6536	6,041
Ni I D . . .	0,1540	1,6300	2,4272	—	—	—
Ni III B . .	0,1039	1,6746	2,5385	3,6702	4,9315	—
Ni III D . .	0,101	1,6724	2,5315	3,6603	4,9143	—
Co I	0,1610	1,5922	2,3540	3,3183	4,4552	5,434
Co II	0,135	1,658	2,4778	3,5266	4,5635	5,605

Nickel und Kobalt eine Bedeutung beizulegen ist, dazu bedarf es noch weiterer Messungen an reinen Proben, wodurch der Einfluß geringer Verunreinigungen mehr aufgeklärt wird.

Aluminium. Die früher untersuchte Aluminiumsorte Al IV mit 0,4 Proz. Verunreinigung (0,18 Fe, 0,22 Si, 0,01 C) hat Herr Mylius im chemischen Laboratorium der Reichsanstalt durch wiederholte Körnung und Extraktion mit verdünnter Salzsäure vom Eisen befreit¹⁾. Das gereinigte Metall, mit Al VI bezeichnet, das nach der Analyse 0,02 Proz. Si, 0,06 Proz. Cu und nur noch eine Spur Eisen aufwies, hat die Firma Heraeus zu Draht von 1 mm Durchmesser ausgezogen, von dem je eine Länge von 7,3 m einmal im harten Zustande, sodann im angelassenen nach längerem Verweilen bei 250° auf ein Porzellanrohr gewickelt und gemessen wurde. Für $100\alpha_{0,100}$ ergaben sich die beiden Werte 0,429 und 0,443, die sich nicht wesentlich von den früher für das Ausgangsmaterial Al IV beobachteten Zahlen unterscheiden. Der spezifische Widerstand ϱ hat dagegen durch die Reinigung etwas abgenommen; die Werte ϱ_0 und ϱ_{20} für 0 und 20° sind in die folgende Tabelle mit aufgenommen.

	100 $\alpha_{0,100}$		10 ⁴ · ϱ_0		10 ⁴ · ϱ_{20}	
	hart	angelassen	hart	angelassen	hart	angelassen
Al IV . . .	0,425	0,445	0,0274	0,0264	0,0299	0,0287
Al VI . . .	0,429	0,443	0,0261	0,0253	0,0284	0,0275

Zum Schluß sind die für $\alpha_{0,100}$ beobachteten Höchstwerte geglühter Metalle zusammengestellt:

Ni . . . 0,675	Rh . . . 0,443	Ir . . . 0,411
Co . . . 0,658	Mo . . . 0,435	Ag . . . 0,410
Fe . . . 0,657	Cu . . . 0,433	Au . . . 0,400
W . . . 0,465	Os . . . 0,424	Pt . . . 0,392
Bi . . . 0,446	Pb . . . 0,422	Pd . . . 0,377
Al . . . 0,445	Zn . . . 0,415	Ta . . . 0,347

Charlottenburg, 24. Nov. 1921.

¹⁾ Franz und Werner Mylius, ZS. anorg. Chem. 114, 33, 1920.