

Temperaturen ein erneuter Anstieg anschließt. Dieser Anstieg kann durch geringe (nicht antiferromagnetische) Verunreinigungen erklärt werden.

Eine dem fallenden Temperaturverlauf folgende Extrapolation der  $\chi(T)$ -Kurve auf 0 °K führt auf einen Wert des Quotienten  $\chi(0)/\chi(T_N) = 0,67$ , der praktisch genau dem aus der Theorie der lokalisierten Momente in der Molekularfeldnäherung errechneten Wert für magnetisch isotropes Material entspricht.

Oberhalb von  $T_N$  wird eine Temperaturabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität festgestellt, die weit über die von UMEBAYASHI und ISHIKAWA<sup>4</sup> an reinen Fe-Mn-Legierungen gefundene hinausgeht. Das  $1/\chi(T)$ -Diagramm zeigt stückweise eine Temperaturabhängigkeit nach dem Curie-Weiss-Gesetz mit antiferromagnetischer Wechselwirkung an. Gegenüber den reinen Fe-Mn-Legierungen tritt eine Verschiebung von  $T_N$  zu tieferen Temperaturen und eine Erhöhung des Absolut-

wertes der magnetischen Suszeptibilität im Maximum auf, der bei 312 °K zu  $1,91 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$  gefunden wurde. Der Suszeptibilitätswert bei 30 °K beträgt  $1,24 \cdot 10^{-5}$  und bei 1000 °K  $1,69 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$ . — Qualitative Untersuchungen des Temperaturverlaufs der spezifischen Wärme durch thermische Analyse ergaben in der Nähe von  $T_N$  eine Spitze im Verlauf der spezifischen Wärme.

Das gegenüber den reinen Fe-Mn-Legierungen unterschiedliche Verhalten muß dem in dem Stahl zur Stabilisierung zugesetzten Chrom zugeschrieben werden. Daraus kann geschlossen werden, daß das Chrom in Eisen-Mangan-Legierungen gleich dem Nickel die Fähigkeit besitzt, die magnetischen Momente zu lokalisieren.

Herrn Dr. H. FABRITIUS, Thyssen Röhrenwerke AG, Metallurgische Abteilung in Düsseldorf, danken wir recht herzlich für die Überlassung des Probenmaterials.

### Magnetische Suszeptibilität des Mangans zwischen Helium-Temperatur und 2000 °K

RUDOLF KOHLHAAS und WOLF DIETER WEISS

Institut für Theoretische Physik der Universität zu Köln, Abteilung für Metallphysik

(Z. Naturforsch. **24 a**, 287–288 [1969]; eingeg. am 7. Dezember 1968)

Das Mangan besitzt im festen Zustand vier Modifikationen: die  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - und  $\delta$ -Phase. Je nach Reinheitsgrad und thermischer Vorbehandlung schwanken in mehr oder weniger großem Umfang die Existenzbereiche der einzelnen Phasen, deren Temperaturangaben daher nur Richtwerte sein können. Beim Aufheizen und Abkühlen gewonnene Meßkurven zeigen eine beträchtliche Hysterese.

Magnetische Suszeptibilitätsmessungen sind am Mangan u. a. von GRUBE und WINKLER<sup>1</sup>, SERRES<sup>2</sup> und ISOBE<sup>3</sup> ausgeführt worden. Im Tieftemperaturbereich liegt eine Messung von ARROTT, COLES und GOLDMAN<sup>4</sup> vor. Da bisher eine geschlossene Untersuchung zwischen der Temperatur des flüssigen Heliums und dem schmelzflüssigen Zustand fehlt, soll hierüber im folgenden berichtet werden.

Die Hauptverunreinigungen der angelieferten „flakes“ sind nach Angaben des Herstellers (Electronic Space Products Inc. [ESPI], Los Angeles) in Gewichts-ppm: 40 Mg, 250 S und 55 Ca; Reinheitsgrad 4N5, weitere Angaben wurden nicht gemacht.

In Abb. 1 ist die Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität  $\chi$  des Mangans zwischen 10 und etwa 2000 °K (beim Aufheizen) dargestellt; einige Zahlenwerte bringt Tab. 1. Alle Größenangaben erfolgen in Einheiten des elektromagnetischen

cgs-Systems. Eine Beschreibung des benutzten Meßverfahrens — eine Variation der Faraday-Methode — findet man in einer Arbeit von WEISS und KOHLHAAS<sup>5</sup>. Es wurde in Magnetfeldern bis zu 6000 Oe gemessen.

Das Verhalten der  $\alpha$ -Phase des Mangans unterhalb 50 °K kann von Probe zu Probe — selbst bei dem glei-

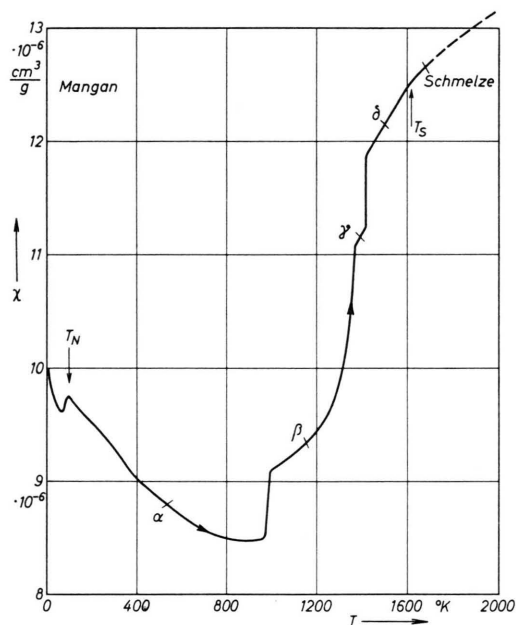


Abb. 1. Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität des Mangans.  $T_S$  = angenommene Schmelztemperatur.

<sup>1</sup> G. GRUBE u. O. WINKLER, Z. Elektrochem. **42**, 815 [1936].

<sup>2</sup> A. SERRES, J. Phys. Radium (7) **9**, 377 [1938].

<sup>3</sup> M. ISOBE, Sci. Rep. Tohoku Univ. **A 3**, 78 [1951].

<sup>4</sup> A. ARROTT, B. R. COLES u. J. E. GOLDMAN, Phys. Rev. **98**, 1864 [1955].

<sup>5</sup> W. D. WEISS u. R. KOHLHAAS, Z. Angew. Phys. **22**, 476 [1967].



Temp. in °K	$\chi$ in $10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$	Temp. in °K	$\chi$ in $10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$
10	9,93 <sub>4</sub>	820	8,48
20	9,84 <sub>5</sub>	870	8,48
30	9,77 <sub>5</sub>	920	8,48
40	9,69 <sub>0</sub>	970	8,50
50	9,64 <sub>2</sub>	980	8,84
60	9,59 <sub>8</sub>	990	9,06
70	9,61 <sub>3</sub>	1000	9,10
90	9,74 <sub>0</sub>	1020	9,15
100	9,74 <sub>2</sub>	1070	9,20
120	9,69 <sub>3</sub>	1120	9,27
140	9,64 <sub>4</sub>	1170	9,41
160	9,61 <sub>5</sub>	1220	9,54
200	9,53 <sub>7</sub>	1270	9,70
250	9,42 <sub>3</sub>	1320	10,00
290	9,30 <sub>1</sub>	1370	11,08
320	9,25	1380	11,10
370	9,09	1390	11,14
420	8,99	1400	11,19
470	8,90	1420	11,88
520	8,84	1470	12,05
570	8,75	1520	12,22
620	8,70	1570	12,39
670	8,62	1620	12,52
720	8,57	1670	12,64
770	8,50	1720	12,73

Tab. 1. Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität des Mangans.

chen angelieferten Ausgangsmaterial — erhebliche Unterschiede aufweisen. Das in Abb. 1 gezeigte Verhalten entspricht nach eigener Auffassung der reinsten Probe; gelegentlich kann sich auch unter 50 °K eine Sättigungs-Temperatur-Kurve überlagern, die auf das

Vorhandensein eines bei etwa 50 °K schwach ferromagnetisch werdenden Manganoxids hinweist. Eine Extrapolation nach der Honda-Methode bei 3,8 °K, dem tiefsten im Kryostaten erreichten Temperaturwert, führt wieder auf Werte, wie sie in Tab. 1 angegeben sind. Das Suszeptibilitätsmaximum liegt bei 100 °K und muß der durch Neutronenbeugungsmessungen gesicherten Umwandlung von dem bei tiefen Temperaturen vorherrschenden antiferromagnetischen Spinordnungszustand in den ungeordneten Zustand zugeschrieben werden. In den Phasenumwandlungsbereichen  $\alpha-\beta$ ,  $\beta-\gamma$  und  $\gamma-\delta$  nimmt die Suszeptibilität sprunghaft zu und zeigt in den einzelnen Phasenbereichen  $\beta$  bis  $\delta$  mit zunehmender Temperatur steigende Tendenz. Auch im schmelzflüssigen Bereich steigt mit wachsender Temperatur die magnetische Suszeptibilität an. Oberhalb 1720 °K werden wegen der (möglichen) Reaktion des Mangans mit dem Tiegelmaterial aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  die Messungen unsicher. Aus diesem Grund ist in Abb. 1 der Kurvenverlauf oberhalb der hier angegebenen Temperatur gestrichelt gezeichnet. Jedoch bis zu den höchsten gemessenen Temperaturen konnte bisher *kein Abfall* in der magnetischen Suszeptibilität festgestellt werden. Der Suszeptibilitätswert bei 2000 °K beträgt etwas mehr als die Hälfte des im flüssigen Zustand nach Messungen von KOHLHAAS<sup>6</sup> angegebenen Wertes für reines Eisen.

Trägt man  $1/\chi \cdot T$  gegenüber  $1/T$  für die eigenen Messungen in Anlehnung an die Ausführungen von KOCH und ARROTT<sup>7</sup> sowie DANIELIAN<sup>8</sup> graphisch auf, so muß gefolgert werden, daß nicht nur in der kubisch flächenzentrierten  $\gamma$ -Phase, für die die Rechnungen streng genommen gelten, eine antiferromagnetische Spinordnung als Grundzustand vorherrscht, sondern auch für die anderen Phasen einschließlich der Schmelze.

<sup>6</sup> R. KOHLHAAS, Arch. Eisenhüttenwes. **36**, 437 [1965].

<sup>7</sup> F. B. KOCH u. A. ARROTT, Bull. Amer. Phys. Soc. **7**, 263 [1962].

<sup>8</sup> A. DANIELIAN, Proc. Phys. Soc. London **80**, 981 [1962].