

Über den Antiferromagnetismus des austenitischen Manganstahles X 40 MnCr 22

RUDOLF KOHLHAAS, ALFRED ADOLF RAIBLE
und WOLF DIETER WEISS

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

(Z. Naturforsch. **24 a**, 286–287 [1969]; eingeg. am 5. Dezember 1968)

Eisen-Mangan-Legierungen mit kubisch flächenzentrierter γ -Struktur, die ab 28 At.-% Mangan stabil sind, zeigen antiferromagnetisches Verhalten. Dies geht hervor aus magnetischen Suszeptibilitätsmessungen von SEDOV¹, SHIGA und NAKAMURA², KOHLHAAS, WEISS und SAUPE³ sowie UMEBAYASHI und ISHIKAWA⁴, des weiteren vor allem aus Neutronenbeugungsexperimenten von CORLISS, HASTINGS und WEISS⁵, KOUVEL und KASPER⁶, UMEBAYASHI und ISHIKAWA⁴ sowie ISHIKAWA und ENDOH⁷ und ferner aus kalorimetrischen Untersuchungen von KOHLHAAS und BRAUN⁸ sowie HASHIMOTO und ISHIKAWA⁹. KRÄCHTER und PEPPERHOFF¹⁰ konnten in jüngster Zeit zeigen, daß sich bei den austenitischen Manganstählen (mit Chromzusatz) in der Umgebung der Néel-Temperatur der Elastizitätsmodul in charakteristischer Weise ändert, da ganz ähnlich wie bei den ferromagnetischen Stoffen unterhalb der Néel-Temperatur spontane Gitterveränderungen auftreten, die als „Antiferromagnetostriktion“ aufgefaßt werden können.

Oberhalb der aus Suszeptibilitätsmessungen und Neutronenbeugungsversuchen festgestellten Néel-Temperatur T_N ist die Temperaturabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität bei den Eisen-Mangan-Legierungen kaum merklich. Sie widerspricht auf jeden Fall dem aus einem lokalisierten Modell folgenden Suszeptibilitätsverlauf. Eine daraus abgeleitete Deutung durch Bandnäherung ist mit der bei kalorimetrischen Messungen gefundenen, ausgeprägten Spitze der spezifischen Wärme bei T_N im Widerspruch.

SHIGA¹¹ fand, daß bei konstant gehaltenem Eisenanteil die Néel-Temperatur T_N abnimmt, der Absolutwert der magnetischen Suszeptibilität im Maximum bei T_N merklich ansteigt und eine stärkere Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität oberhalb T_N auftritt, wenn sukzessive das Mangan durch Nickel ersetzt wird. Dieses Verhalten wird dem Einfluß des Nickels zugeschrieben. Es erhöht den „permanenten Anteil“ der magnetischen Momente in solchen Legierungen. Man erklärt den hier aufgezeigten Sachverhalt mit einer Lokalisierung der magnetischen Momente.

An dem handelsüblichen austenitischen Stahl X 40 MnCr 22 wurden zwischen 5 und 1800 °K Messungen der spezifischen magnetischen Suszeptibilität χ ausgeführt und erstreckten sich damit bis in den Bereich des schmelzflüssigen Zustandes. Im gesamten Temperaturbereich ergab sich bis zu einer Feldstärke von 5000 Oe, bei der die Messungen ausgeführt wurden, keine Feldabhängigkeit der Suszeptibilität. Die benutzte Meßapparatur für Messungen unterhalb Raumtemperatur ist bei WEISS¹² bzw. RAIBLE¹³ näher beschrieben. Für Temperaturen oberhalb Raumtemperatur wurden die von KOHLHAAS¹⁴ vorgestellten Meßvorrichtungen eingesetzt. Alle Größenangaben erfolgen in Einheiten des elektromagnetischen cgs-Systems. Die chemische Zusammensetzung des untersuchten Stahles ist in Gewichtsprozent: 0,324 C, 0,57 Si, 21,75 Mn und 3,55 Cr.

In Abb. 1 ist die Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität χ des austenitischen Stahles X 40 MnCr 22 dargestellt. Der Temperaturgang der magnetischen Suszeptibilität deutet darauf hin, daß sich während des Erstarrens zunächst die kubisch raum-

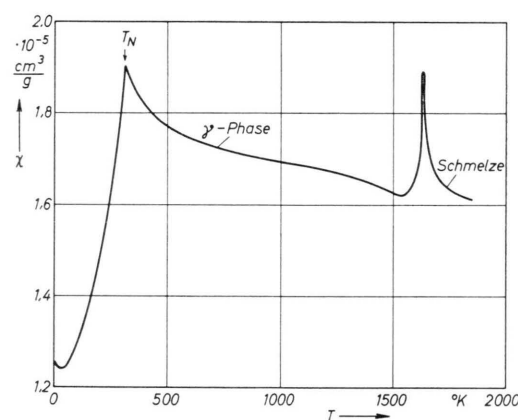


Abb. 1. Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität des austenitischen Manganstahles X 40 MnCr 22.

zentrierte δ -Phase ausbildet und dann erst die kubisch flächenzentrierte γ -Phase. Die γ -Phase zeigt nun einen Temperaturverlauf, wie er für antiferromagnetische Stoffe typisch ist. Ein scharf ausgeprägtes Suszeptibilitätsmaximum bei 312 °K gibt die Néel-Temperatur an. Unterhalb dieser erfolgt ein monotoner Abfall bis etwa 30 °K, dem sich nach einem Minimum zu noch tieferen

¹ V. L. SEDOV, Soviet Phys.-JETP **15**, 88 [1962].

² M. SHIGA u. Y. NAKAMURA, J. Phys. Soc. Japan **19**, 1743 [1964].

³ R. KOHLHAAS, W. D. WEISS u. K. SAUPE, Phys. Status Solidi **9**, K 189 [1965].

⁴ H. UMEBAYASHI u. Y. ISHIKAWA, J. Phys. Soc. Japan **21**, 1881 [1966].

⁵ S. M. CORLISS, J. M. HASTINGS u. R. J. WEISS, unveröffentlicht. Mitgeteilt durch R. J. WEISS u. K. J. TAUER, Phys. Rev. **102**, 1490 [1956].

⁶ J. S. KOUVEL u. J. S. KASPER, J. Phys. Chem. Solids **24**, 1046 [1963].

⁷ Y. ISHIKAWA u. Y. ENDOH, J. Phys. Soc. Japan **23**, 205 [1967].

⁸ R. KOHLHAAS u. M. BRAUN, Arch. Eisenhüttenwes. **34**, 391 [1963].

⁹ T. HASHIMOTO u. Y. ISHIKAWA, J. Phys. Soc. Japan **23**, 213 [1967].

¹⁰ H. KRÄCHTER u. W. PEPPERHOFF, Arch. Eisenhüttenwes. **39**, 541 [1968].

¹¹ M. SHIGA, J. Phys. Soc. Japan **22**, 539 [1967].

¹² W. D. WEISS, Dissertation, Universität Köln 1968.

¹³ A. A. RAIBLE, Diplomarbeit, Universität Köln 1969.

¹⁴ R. KOHLHAAS, Arch. Eisenhüttenwes. **36**, 437 [1965].



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 $\gamma(0)/\chi(T_N) = 0,67$, 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 ISHIKAWA⁴ 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 α -, β -, γ - und δ -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 WINKLER¹, SERRES² und ISOBE³ ausgeführt worden. Im Tieftemperaturbereich liegt eine Messung von ARROTT, COLES und GOLDMAN⁴ 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 χ 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 KOHLHAAS⁵. Es wurde in Magnetfeldern bis zu 6000 Oe gemessen.

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

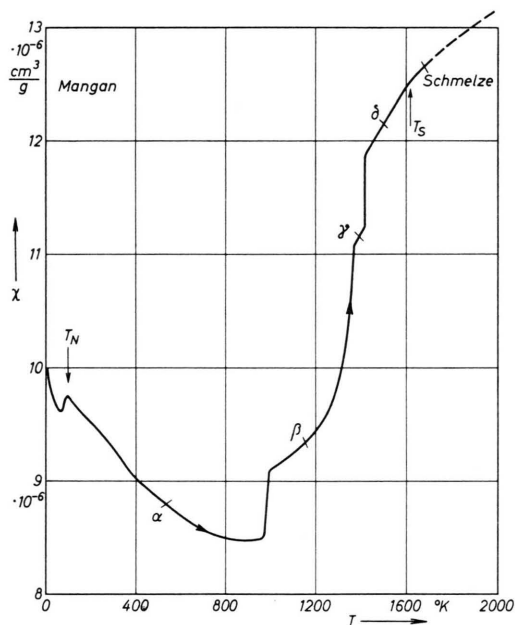


Abb. 1. Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität des Mangans. T_S = angenommene Schmelztemperatur.

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

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

³ M. ISOBE, Sci. Rep. Tohoku Univ. **A 3**, 78 [1951].

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

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