

Magnetische Untersuchungen über den Antiferromagnetismus austenitischer Eisen-Chrom-Nickel-Legierungen

RUDOLF KOHLHAAS, ALFRED ADOLF RAIBLE, WERNER ROCKER
und WOLF DIETER WEISS

Institut für Theoretische Physik der Universität Köln,
Abteilung für Metallphysik

(Z. Naturforsch. **23 a**, 611–612 [1968]; eingegangen am 23. Februar 1968)

Bei magnetischen Untersuchungen über die Stabilität austenitischer Stähle von KOHLHAAS, WEISS und FABRITIUS¹ ergab sich, daß bei einigen dieser Werkstoffe das kubisch flächenzentrierte austenitische Gitter im Bereich zwischen der Siedetemperatur der flüssigen Luft und der Schmelze stabil war, also weder δ -Ferrit als störende zweite Phase auftrat noch sich α' -Martensit bildete. Die genannten Autoren² haben in einer früheren Notiz aus dem Temperaturgang der magnetischen Suszeptibilität geschlossen, daß solche Stähle bei hinreichend tiefen Temperaturen ebenso wie das reine γ -Eisen, wäre es dort existent, antiferromagnetisches Verhalten zeigen müßten. Erstmals wurde von KONDORSKII und SEDOV³ eine austenitische Eisenprobe mit 18 Gew.-Proz. Cr und 9% Ni zwischen 11,3 und 109 °K magnetisch untersucht und bei etwa 40 °K ein Maximum in der magnetischen Suszeptibilität gefunden. Außerdem fanden mit Hilfe des Mößbauer-Effektes GONSER, MEECHAN, MUIR und WIEDERSICH⁴ an einem rostfreien Stahl mit 18% Cr und 10% Ni bei 38 ± 2 °K einen Néel-Punkt, der sich durch eine Verbreiterung der Mößbauer-Linie bemerkbar macht.

Von WEISS⁵ wurden die Wägevorrückungen, wie sie WEISS und KOHLHAAS^{6,7} für Suszeptibilitätsmessungen zwischen 80 und 1850 °K an den sechs Platinmetallen benutzt haben, in Verbindung mit einem Kryostaten in den von KOHLHAAS und LANGE⁸ beschriebenen großen

Topf-Elektromagneten eingebaut; die elektronische Meßanlage wurde von ROCKER⁹ erstellt. Auf diese Weise gelingen magnetische Untersuchungen bis herab

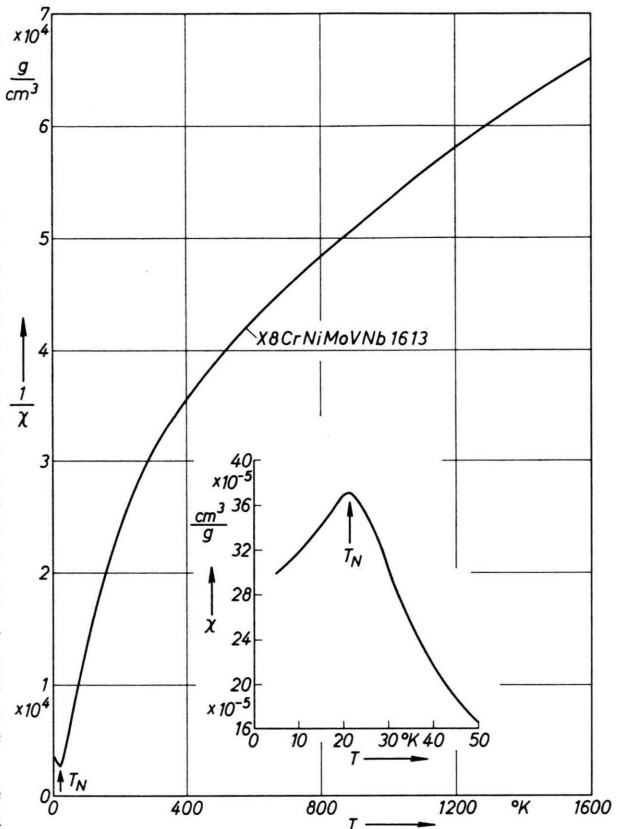


Abb. 1. $(1/\chi - T)$ -Kurve für den Stahl X8CrNiMoVNb1613. Ausschnitt: $(\chi - T)$ -Kurve für denselben Stahl in der Umgebung des Suszeptibilitätsmaximums.

Lfd. Nr.	Stahlsorte Kurzname	Chemische Zusammensetzung in Gew.-Prozent						T_N	χ	μ
		C	Cr	Mo	Nb	Ni	Sonstiges	in °K	bei 293 °K in $10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$	bei 293 °K
1	X8CrNiNb1613	0,08	17,16	0,28	0,81	12,76	—	38	3,23	1,0032
2	X8CrNiMoVNb1613	0,05	16,1	1,34	0,74	14,2	0,10 N 0,83 V	21,5	3,30	1,0033
3	X8CrNiMoNb1616	0,05	15,8	1,93	0,84	15,8	—	18	3,60	1,0036
4	X8CrNiMoNb1616	0,045	17,13	1,91	0,58	18,0	—	13	3,20	1,0032
5	X15CrNiSi2520	0,11	23,4	—	—	21,8	2,40 Si	—	2,92	1,0029

Tab. 1. Chemische Zusammensetzung der untersuchten austenitischen Stähle, Temperatur des Maximums der magnetischen Suszeptibilität T_N sowie spezifische magnetische Suszeptibilität χ und Permeabilität μ bei Raumtemperatur.

¹ R. KOHLHAAS, W. D. WEISS u. H. FABRITIUS, Arch. Eisenhüttenwes. **38**, 865 [1967].

² R. KOHLHAAS, W. D. WEISS u. H. FABRITIUS, Z. Naturforsch. **21 a**, 1514 [1966].

³ E. I. KONDORSKII u. V. L. SEDOV, J. Appl. Phys. Suppl. **31**, 331 S [1960].

⁴ U. GONSER, C. J. MEECHAN, A. H. MUIR u. H. WIEDERSICH, J. Appl. Phys. **34**, 2373 [1963].

⁵ W. D. WEISS, Diss., Köln, in Vorbereitung.

⁶ W. D. WEISS u. R. KOHLHAAS, Z. Angew. Phys. **22**, 476 [1967].

⁷ W. D. WEISS u. R. KOHLHAAS, Z. Angew. Phys. **23**, 175 [1967].

⁸ R. KOHLHAAS u. H. LANGE, Z. Angew. Phys. **17**, 253 [1964].

⁹ W. ROCKER, Diss., Univ. Köln 1967; s. a. W. ROCKER u. R. KOHLHAAS, Z. Angew. Phys. **23**, 146 [1967].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition “no derivative works”). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

zu der Siedetemperatur des flüssigen Heliums. Die Messungen erfolgten in Magnetfeldern von etwa 1000 Oe. Stärkere Felder sind zur Zeit bei den eigenen Messungen nicht möglich, da bei der relativ hohen Suszeptibilität dieser Stähle bei der langen Fadenaufhängung die Probe dann Seitenkräfte erfährt, die die Untersuchung stören würden. Alle Größenangaben erfolgen in Einheiten des elektromagnetischen cgs-Systems, alle Temperaturangaben in $^{\circ}\text{K}$.

Gemessen wurden u. a. fünf Stähle, deren chemische Zusammensetzung in Tab. 1 angegeben ist. Bei allen austenitischen Stählen 1 bis 5 nimmt zunächst beim Abkühlen die spezifische magnetische Suszeptibilität χ stark zu. Bei den Proben 1, 2, 3 und 4 durchläuft die magnetische Suszeptibilität unterhalb von 40°K ein Maximum und fällt dann bis zur Heliumtemperatur ab. Abb. 1 zeigt den Verlauf der reziproken magnetischen Suszeptibilität $1/\chi$ des Stahles X8CrNiMoVNb1613 (DIN-Bezeichnung) gegenüber der Temperatur in $^{\circ}\text{K}$. Der Ausschnitt in Abb. 1 hebt das magnetische Verhalten dieses Stahles in der Nähe des Extremwertes als $\chi-T$ -Kurve noch einmal besonders hervor. In Tab. 1 sind neben der chemischen Zusammensetzung die Temperatur T_N des Maximums der magnetischen Suszeptibilität, die spezifische magnetische Suszeptibilität χ bei Raumtemperatur und die daraus errechnete Permeabilität μ angegeben; die Bezeichnung T_N soll auf Néel-Temperaturen hinweisen. Tab. 2 bringt die

so zeigt sich als Beispiel für die Proben 1 bis 4, daß die Kurven für die Stähle X8CrNiMoVNb1613 und X8CrNiMoNb1616 (Probe 4) zunächst steil ansteigen und nach einem flachen Maximum zu größeren $(1/T)$ -Werten wieder leicht abfallen, wie dies in Abb. 2 zu sehen ist. Qualitativ ist die Gestalt der Kurven ähnlich derjenigen, die DANIELIAN¹¹ auf Grund seiner Rechnungen für eine Kurve angibt, die antiferromagnetische Wechselwirkung nächster und ferromagnetische Wechselwirkung übernächster Nachbarn als Voraussetzung hat.

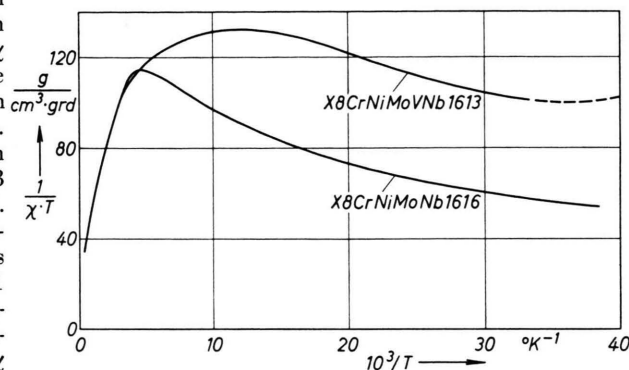


Abb. 2. $[1/(\chi \cdot T) - 1/T]$ -Kurven für die Stähle X8CrNiMoVNb1613 und X8CrNiMoNb1616 (Probe 4 in Tab. 1).

Temp. in $^{\circ}\text{K}$	χ in $10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$	Temp. in $^{\circ}\text{K}$	χ in $10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$
5	29,96	150	5,35
10	31,85	200	4,25
15	34,46	293	3,30
20	36,82	373	2,95
21,5	37,15	473	2,61
25	35,26	673	2,24
30	29,98	873	1,99
40	21,61	1073	1,80
50	16,48	1272	1,68
70	11,02	1473	1,57
101	7,45	1673	1,50

Tab. 2. Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität des Stahles X8CrNiMoVNb1613.

Temperaturabhängigkeit der spezifischen magnetischen Suszeptibilität für den Stahl X8CrNiMoVNb1613. Die Stahlprobe 5 (X15CrNiSi2520) mit hohem Chrom- und Nickelgehalt besitzt bis herab zur Temperatur des flüssigen Heliums kein Maximum; ihre magnetische Suszeptibilität steigt vielmehr bis zur tiefsten erreichten Temperatur stetig an.

Trägt man nach KOCH und ARROTT¹⁰ sowie DANIELIAN¹¹ $(1/\chi) T$ gegenüber $1/T$ graphisch auf — nähere Ausführungen bei KOHLHAAS, WEISS und FABRITIUS^{1,2} —,

Aus der Lage der Suszeptibilitätsmaxima in Verbindung mit der chemischen Zusammensetzung läßt sich die Vermutung aussprechen, daß das Eisen offenbar die antiferromagnetische Komponente bedingt, während das Nickel im Sinne DANIELIANs¹¹ den ferromagnetischen Beitrag liefert, da die „Néel-Punkte“ T_N sich mit steigendem Nickelgehalt zu tieferen Temperaturen verschieben. Schließlich besitzt der Stahl X15CrNiSi2520 mit dem höchsten Nickelgehalt kein Maximum der Suszeptibilität mehr.

Damit ist jedoch die Frage noch nicht geklärt, ob sich das hier aufgefundene Suszeptibilitätsverhalten nicht auf Metamagnetismus zurückführen läßt, also jener Erscheinung, daß eine antiferromagnetische Spinanordnung bei höheren Magnetfeldern in eine ferromagnetische umschlägt, wobei die Lage der Suszeptibilitätsmaxima feldabhängig werden kann. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig. Die Aufklärung einer genauen Spinanordnung kann (wenn überhaupt) nur durch Neutronenbeugungsversuche gebracht werden. — Mit dieser Notiz sollte gezeigt werden, daß handelsübliche stabile austenitische Eisenwerkstoffe mit normaler Wärmebehandlung im Temperaturgang der magnetischen Suszeptibilität ein Verhalten äußern, das eine Deutung als Antiferromagnetismus zuläßt.

Herrn Prof. Dr. HEINRICH LANGE danken wir für die Förderung dieser Arbeit. Das Probenmaterial wurde uns von Herrn Dr. H. FABRITIUS, August-Thyssen-Röhrenwerke AG, Metallurgische Abteilung in Düsseldorf, zur Verfügung gestellt, für dessen Bereitstellung wir ebenfalls recht herzlich danken.

¹⁰ F. B. KOCH u. A. ARROTT, Bull. Amer. Phys. Soc. 7, 263 [1962].

¹¹ A. DANIELIAN, Proc. Phys. Soc. London 80, 981 [1962].