

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 2, Number 366 (2017), 61 – 64

**N. A. Artygalin<sup>1</sup>, D. A. Yunusova<sup>2</sup>, U. K. Ormanova<sup>2</sup>, T. A. Turmambekov<sup>3</sup>, P. A. Saidakhmetov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Nazarbayev intellectual school of physics and mathematics, Shymkent, Kazakhstan,

<sup>2</sup>M. Auezov South Kazakhstan state university, Shymkent, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Kh. A. Yassawi International kazakh-turkish university, Turkestan, Kazakhstan.

E-mail: nurlan\_asanalievich@mail.ru, tore\_bai@mail.ru, timpf\_ukgu@mail.ru

## **THE ELASTIC CONSTANTS OF ALLOYS WITH $\gamma$ -Mn**

**Abstract.** In this work, we investigate the temperature dependence of the elastic constants of alloys with  $\gamma$ -Mn in the lattice by using ultrasonic method. On the single-crystal specimen of the Mn-Cu alloy in the quenched condition decreases to nitrogen temperature. It is shown that constant  $C_{44}$  has abnormal temperature dependence. Shear constant,  $c$ , has anomalous temperature dependence. The Neel temperature ( $T_N$ ) of the sample coincided with the onset temperature of FCC $\leftrightarrow$ FCT transformation. The fact of decrease the magnitude of the constant  $c'$  by approaching the transition temperature was described. In martensitic transformation alloys of gamma manganese, magnetostrictive transformation with giant deformation of substances is mainly determined with the little constants  $c'$ .

**Keywords:** phase transformation, metal physics, crystals, austenite, martensite, elastic constant, abnormal temperature, deformation, shift.

УДК 669.745.35

**Н. А. Артыгалин<sup>1</sup>, Д. А. Юнусова<sup>2</sup>, У. К. Орманова<sup>2</sup>, Т. А. Турмамбеков<sup>3</sup>, П. А. Сайдахметов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Назарбаев Интеллектуальная школа физико-математического направления, Шымкент, Казахстан,

<sup>2</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Аузэзова, Шымкент, Казахстан,

<sup>3</sup>Международный казахско-турецкий университет им. Х. А. Ясави, Туркестан, Казахстан

## **КОНСТАНТЫ УПРУГОСТИ СПЛАВОВ $\gamma$ -Mn**

**Аннотация.** В работе ультразвуковым методом исследована температурная зависимость констант упругости сплавов  $\gamma$ -Mn в решетке. Монокристаллические образцы сплава Mn-Cu в закаленном состоянии охлаждались до азотной температуры. Показано, что константа  $C_{44}$  имеет нормальную температурную зависимость. Сдвиговая константа  $c'$  обладает аномальной температурной зависимостью. Температура Нееля ( $T_N$ ) образца совпадала с температурой начала ГЦК $\leftrightarrow$ ГЦТ превращения. Описаны факт уменьшения величины константы  $c'$  с приближением к температуре перехода. Мартенситное превращение в сплавах гамма марганца, как магнитострикционное превращение в веществах с гигантской стрикцией, определяется в основном, малостью константы  $c'$ .

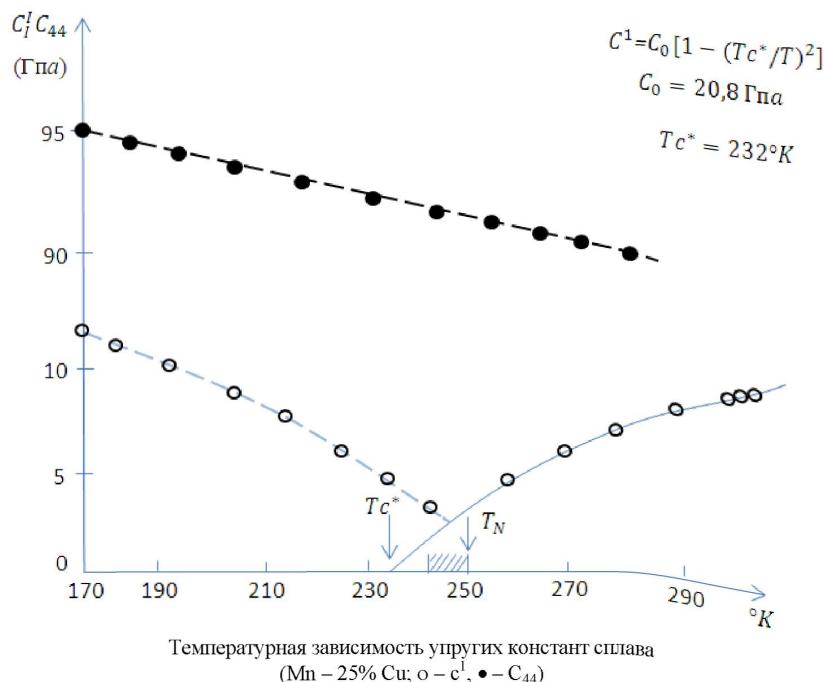
**Ключевые слова:** фазовый переход, физика металлов, кристаллы, аустенит, мартенсит, константа упругости, аномальная температура, деформация, сдвиг.

Результаты исследования особенностей протекания низкотемпературного ГЦК $\leftrightarrow$ ГЦТ перехода в сплавах на основе марганца показало, что это превращение является фазовым переходом I рода близким ко II-му. В настоящее время в физике металлов накоплен достаточно большой экспериментальный материал по исследованию механизма такого рода перехода в различных соединениях и металлических сплавах. Наиболее часто дискусируется возможность протекания таких переходов по механизму "мягкой моды" с полной или частичной потерей устойчивости кристаллической решетки аустенитной фазы в окрестности критической температуры. С целью изучения механизма перехода в сплавах на основе  $\gamma$ -Mn, нами было предпринято исследование

констант упругости, которое обычно связывается с тепловыми колебаниями решетки т.е. динамическими искажениями. Для этого необходимо исследовать температурную зависимость константы упругости рассматриваемых сплавов.

Исследование температурной зависимости констант упругости было проведено нами на монокристаллическом образце сплава Mn-Cu в закаленном состоянии [1, 2]. Температура Нееля ( $T_N$ ) образца по нейтроннографическим данным составляло  $252 \pm 3$  К, т.е. практически совпадала с температурой начала ГЦК $\leftrightarrow$ ГЦТ превращения ( $T_t$ , определенная дилатометрически, составляла  $250 \pm 3$  К). Изучение температурной зависимости упругих констант проводилось ультразвуковым методом, для чего образцы охлаждались в азотном дьюаре со скоростью 1-3 градусов в минуту. Измерение скорости звука проводилось эхо-импульсным методом, на несущей частоте 4 Мгц. В качестве склейки кварцевых преобразователей с образцом использовались салол и вакуумная смазка при измерении скорости поперечных волн, и масло ГЖК для продольных. Константы  $C_{44}$  определялась по скорости поперечных волн, распространяющихся вдоль [001]. Прямое определение константы  $c' = (c_{11} - c_{12})/2$  по скорости поперечных волн, распространяющихся вдоль [110], оказалось затруднительным из-за чрезвычайно высокого затухания этих волн. На специально подготовленном образце, толщиной 1 мм вдоль [110], нам удалось провести прямое измерение  $c'$  при температурах близких комнатной. При понижении температуры затухание еще более возрастает, что делает невозможным прямое определение  $c'$ . В дальнейшем непосредственно измеренные значения  $c'$  использовались нами как калибровочные, для сравнения с величинами, полученными путем измерения констант из скорости продольных волн вдоль [110] и из скорости продольных волн вдоль [111]. Измерения этих величин позволило определить константу  $c'$  при всех температурах путем расчета.

Температурные зависимости констант  $C_{44}$  и  $c'$  исследованного монокристалла приведены на рисунке. Видно, что даже при комнатной температуре  $[(T - T_N) \approx 40$  К, т.е. достаточно велико], величина  $c' = 7,6$  ГПа аномально низка по сравнению с величиной  $C_{44} = 91$  ГПа. При понижении температуры константа  $C_{44}$  ведет себя обычным образом, т.е. ее величина возрастает. В то же время константа  $c'$  обладает аномальной температурной зависимостью. При понижении температуры она убывает вплоть до  $T = T_N$ ; а при дальнейшем понижении температуры начинает возрастать. В окрестности температуры Нееля  $c' = 2,5$  ГПа.



Наши данные об аномальном температурном поведении констант  $c'$  полностью согласуются с исследованием [2], проведенным на сплаве Mn - 9%, Ni - 6%С, что позволяет нам утверждать, что уменьшение ультразвуковой константы  $c'$  (но не полное ее зануление) по мере приближения к  $T_i$  является характерной чертой предпереходного состояния превращающихся сплавов  $\gamma$ -Mn, что находится в согласии с тем фактом, что  $\text{ГЦК} \leftrightarrow \text{ГЦТ}$  превращение в них близко к фазовому переходу второго рода. При температурной деформации происходят сдвиги плоскостей (101) и (011) в направлениях [101] и [011] соответственно. Факт уменьшения величины константы  $c'$  с приближением к температуре перехода означает смягчение решетки к сдвиговым деформациям указанного типа [3,4,5].

Температурные зависимости упругих констант, приведенные на рисунке 1 позволяют понять, почему магнитострикционные модели  $\text{ГЦК} \leftrightarrow \text{ГЦТ}$  перехода в сплавах  $\gamma$ -Mn довольно успешно описывают некоторые особенности этого перехода, хотя и не выявляют причин существования гигантской (величиной в несколько процентов) линейной струкции. Действительно, магнитострикционные константы в кубических кристаллах определяются выражением:

$$\lambda_{100} = -\frac{2}{3} \times \frac{B_1}{C_{11} - C_{12}} \\ \lambda_{111} = -\frac{1}{3} \times \frac{B_2}{C_{44}}, \quad (1)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – магнитоупругие константы, определяемые величиной спин-орбитального взаимодействия [6,7].

Из вида выражения (1) следует, что в окрестности  $T_N$   $\lambda_{100}$  может достигать в случае сплавов  $\gamma$ -Mn больших величин из-за аномально малого значения  $c'$ . Это хорошо согласуется с характером  $\text{ГЦК} \leftrightarrow \text{ГЦТ}$  превращения, экспериментально наблюдаемым в сплавах  $\gamma$ -Mn. В сплавах первого класса в результате превращения реализуется ГЦТ структура с отношением осей  $c/a < 1$ , причем  $\Delta a \approx -\frac{1}{2} \Delta C$ , так что изменение объема при превращении очень мало. Величина же степени тетрагональности  $(1 - c/a)$  достигает нескольких процентов и соответственно изменение  $d_{100}$  очень велико по сравнению с  $d_{111}$ .

Таким образом, формально действительно можно описать превращение в сплавах гамма марганец, как магнитострикционное превращение в веществах с гигантской струкцией. Причем очень большая, гигантская, струкция определяется, в основном, малостью константы  $c'$ . Однако такое рассмотрение требует ответа на вопрос: за счет чего происходит уменьшение сдвиговой константы  $c'$  при приближении к температуре Нееля  $T_N$ .

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Токий Н.В., Тонкий В.В., Пилипенко А.Н., Письменова Н.Е. Температурная зависимость модулей упругости субмикро-кристаллической меди // ФТГ. – 2014. – Т. 56, вып. 5. – С. 966-969.
- [2] Одинцов И.Н. Метод исследования упругой анизотропии материалов // Вестник Нижегородского ун-та. – 2011. – № 4. – С. 1660-1662.
- [3] Винтайкин Е.З., Удовенко В.А., Серябров В.Г., Литвин Д.Ф. Константа упругости сплавов марганец-медь // ФММ. – 1980. – Т. 49. – С. 883.
- [4] Удовенко В.А., Полякова Н.А., Турмамбеков Т.А., Дмитриев В.Б. Стадиность процесса формирования мартенситной структуры и демпфирующих свойств при отжиге сплавов Mn-Cu // ФММ. – 1994. – Т. 77, вып. 2. – С. 134-140.
- [5] Per Söderlind, Olle Eriksson, Wills J. M., Boring A. M. Theory of elastic constants of cubic transition metals and alloys // Phys. Rev. – B 48, 5844, 1993.
- [6] Eryi Hu, Wenjin Wang. The Elastic Constants Measurement of Metal Alloy by Using Ultrasonic Nondestructive Method at Different Temperature. // Mathematical Problems in Engineering. – Vol. 2 (2016). – Article ID 6762076, 7 p.

## REFERENCES

- [1] Tokiy N.V., Tokiy V.V., Pilipenko A.N., Pismenova N.E. Temperaturnaya zavisimost moduley uprugosti submikro-kristallicheskoy medi. *FTT*, 2014, Vol. 56, N 5, P. 966-969.
- [2] Odintsov I.N. Metod issledovaniya uprugoy anizotropii materialov. *Vestnik Nizhnegorodskogo Univer.*, 2011, N 4, P. 1660-1662.
- [3] Vintaykin E.Z., Udoeneko V.A., Seryabrov V.G., Litvin D.F. Konstanta uprugosti splavov marganets-med. *FMM*, 1980, Vol. 49, P. 883.

- [4] Udovenko V.A., Polyakova N.A., Turmambekov T.A., Dmitriev V.B. Stadinost protsessa formirovaniya martensitnoy struktury i dempfiruyushxikh svoystv pri otzhige splavov Mn-Cu. *FMM*, 1994, vol. 77, vyp. 2, P. 134-140.
- [5] Per Söderlind, Olle Eriksson, Wills J. M., Boring A. M. Theory of elastic constants of cubic transition metals and alloys. *Phys. Rev. B* 48, 5844, 1993.
- [6] Eryi Hu, Wenjin Wang. The Elastic Constants Measurement of Metal Alloy by Using Ultrasonic Nondestructive Method at Different Temperature. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2(2016), Article ID 6762076, 7 p.

**Н. А. Артыгалин<sup>1</sup>, Д. А. Юнусова<sup>2</sup>, У. К. Орманова<sup>2</sup>, Т. А. Турмамбеков<sup>3</sup>, П. А. Саидахметов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Физика-математика бағытындағы Назарбаев Зияткерлік мектебі, Шымкент, Қазақстан,

<sup>2</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан;

<sup>3</sup>Х. А. Ясави атындағы ХҚТУ, Түркістан, Қазақстан

### **γ-Mn ҚОРТПАЛАРЫНЫҢ СЕРПІМДІЛІК ТҮРАҚТЫСЫ**

**Аннотация.** Жұмыста ультродыбыстық әдіспен  $\gamma$ -Mn қортпа торының серпімді тұрақтысының температураға тәуелділігі зерттелген. Шынықтырылған Mn-Cu монокристал үлгісі азот температурасына дейін сұзылыды.  $C_{44}$  серпімді тұрақтысының температураға тәуелділігі бірқалыпты. Ығысу тұрақтысы с' температураға тәуелділігі аномалды болады. Үлгінің Нессл температурасы ( $T_N$ ) бастапкы  $\Gamma\text{-}\text{ЦК} \leftrightarrow \text{ГЦТ}$  ауысу температурасымен сایкес келеді. Ауысу температурасына жақындағандай с' тұрақты шамасының төмендеу фактысы сипатталған. Гамма марганец қортпасындағы мартенсит ауысу, негізінен с' тұрақтысының аздығымен анықталатын ете үлкен стрикция бар заттардағы магнитострикциялық ауысадағыдан анықталады

**Түйін сөздер:** металдар физикасы, кристалдар, аустенит, мартенсит, серпімділік тұрақтысы, аномальды температура, деформация, ығысу, фазалық ауысу.

#### **Сведения об авторах:**

Нурлан Асаналиевич Артыгалин – учитель физики, Назарбаев Интеллектуальная школа физико-математического направления г. Шымкент, nurlan\_asanalievich@mail.ru

Торебай Абдырахманович Турмамбеков – д.ф.-м.н., зав.кафедрой, МКТУ им. Х. А. Ясави, tore\_bai@mail.ru

Пулат Аблатыевич Саидахметов – к.ф.-м.н., зав.кафедрой, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, timpf\_ukgu@mail.ru