Физика низких температур, 1995, т. 21, № 9, с. 983–985

Краткие сообщения УДК 539.2

Влияние примеси неона на низкотемпературную пластичность n-H_2

Л. А. Алексеева, М. А. Стржемечный, Г. Н. Щербаков

Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины, Украина, 310164, г. Харьков, пр. Ленина, 47
E-mail:strzhemechny@ilt.kharkov.ua

Статья поступила в редакцию 21 апреля 1995 г., после переработки 17 мая 1995 г.

Представлены результаты исследования пластичности слабых растворов Ne в нормальном водороде при одноосном растяжении в области гелиевых температур для концентраций неона 0,01 и 0,001%. Получены кривые упрочнения, определены значения предела текучести. Обнаружено заметное влияние примеси неона, имеющее пластифицирующий характер.

Подано результати дослідження пластичності слабких розчинів Ne в нормальному водню при одновісному розтягу в області гелієвих температур для концентрацій неону 0,01 і 0,001%. Отримано криві зміцнення, визначено границі плинності. Виявлено помітний вплив домішки неону, що має пластифікуючий характер.

Пластические свойства твердых водородов дают информацию о дислокационной динамике, которая в этих кристаллах должна иметь ярко выраженный квантовый характер. С точки зрения проявления квантовых эффектов в пластических свойствах криокристаллов (в частности, водорода) наиболее интересны процессы зарождения двойных перегибов и движения изолированного перегиба во вторичном пайерлсовском рельефе, а также преодоление различных непериодических барьеров. В последнем случае природа стопорящих барьеров не столь существенна и кинетика продвижения дислокации через сетку препятствий определяется микроскопическими характеристиками этих препятствий. Удобным способом создания в кристалле контролируемой системы стопоров является введение примесей; при малой концентрации и известных характеристиках примеси (замещение/ внедрение, характер и сила взаимодействия с регулярной частицей и пр.) экспериментальные данные легко интерпретируются. Как показывает эксперимент на твердом водороде [1], введение примесей замещения (в общем,любой природы) даже при малых концентрациях приводит к повышению жесткости образца, что является очевидным следствием затруднения движения дислокаций. Особым случаем являются изотопические примеси и (в случае гомоядерных изотопов) «примеси» гостевой модификации. При этом возмущения, привносимые примесями, являются предельно слабыми, что увеличивает шансы восстановления деталей картины квантового движения дислокации в совместно действующих полях паейрлсовсого рельефа и примесных центров. К группе изотопических примесей можно отнести неон. Работа с неоном имеет те преимущества, что, во-первых, из всех «изотопических» примесей он должен оказывать самое сильное пиннингующее действие и, во-вторых, есть основания получить однородный раствор не исчезающе малой равновесной концентрации. По разным данным, равновесная концентрация неона в параводороде составляет от 0,2% [2] до 0,05% [3].

С целью выявления предполагаемого примесного упрочнения водорода неоном были проведены низкотемпературные испытания образцов очень слабых твердых растворов Ne–n-H_2. Нормальный водород был выбран потому, что его пластические свойства в меньшей степени аномальны, и можно ожидать, что трактовка результатов будет более однозначной.

Образцы выращивались из жидкой фазы смесей с концентрациями 0,01 и 0,001% Ne в n-H_2. Сначала готовилась более грубая смесь 0,1% Ne–n-H_2, состав которой контролировался с высокой точностью (0,005–0,01%) с помощью масс-спектрометрического и хроматографического методов анализа. Последующее ее разбавление требуемым количеством газообразного водорода позволяло получить более тонкую смесь 0,01% Ne–n-H_2. Всего было приготовлено около 600 литров указанной смеси. Примерно треть этого количества в дальнейшем была разбавлена еще раз водородом с

© Л. А. Алексеева, М. А. Стржемечный, Г. Н. Щербаков, 1995

целью получения второй расчетной концентрации неона $C_2 = 0{,}001\%$. Возможные следы компонентов воздуха и других газов удалялись осаждением в охлаждаемом жидким азотом змеевике, заполненном активированным углем. (При этом возможное ускорение конверсии оказывается незначительным — не более 0,2% за время приготовления образца.) Столь низкие концентрации неона в исследуемых образцах были выбраны для того, чтобы избежать возможного повышения плотности дислокаций в кристаллах растворов по сравнению с чистым n-H_2.

Выращивание образцов производилось по методике, описанной в [4,5]. Полученные поликристаллы (длиной 3 см, диаметром $\approx 0{,}6$ см) отжигались при температурах 11–12 K в течение 40–50 минут и столько же времени выдерживались перед растяжением при температуре испытания. Образцы состояли из достаточно крупных (до 1,5 мм) зерен. Поликристалличность образцов подтверждалась визуальными наблюдениями в скрещенных поляроидах.

Образцы испытывались при температурах 1,8–4,2 K в режиме ступенчатого одноосного растяжения малыми догрузками через равные промежутки времени (2 мин), причем считалось, что результирующее относительное удлинение ε в конце каждого промежутка соответствует приложенной суммарной нагрузке. Напряжение σ наращивалось вплоть до разрушения образцов. Удлинение кристаллов под действием приложенной нагрузки непрерывно фиксировалось с помощью электронного самопишущего потенциометра типа КСП4, на вход которого подавался преобразованный и усиленный сигнал с индуктивного датчика перемещений. Погрешность определения удлинения кристаллов составляла $\pm 10^{-4}$ см, величины σ — не превышала $\pm 5 \cdot 10^{-2}$ гс/мм^2. Температура торцов кристаллов измерялась двумя полупроводниковыми датчиками с точностью $\pm 2 \cdot 10^{-2}$ K.

В результате были получены кривые упрочнения — зависимости относительного удлинения кристаллов от приложенной к ним нагрузки. На рис. 1 приведены типичные кривые упрочнения для двух исследованных концентраций неона и двух температур (вблизи 2 и 4,2 K). Здесь же представлена кривая упрочнения, полученная тем же методом ранее [4] при $T = 2$ K. Оказалось, что вид зависимостей отличается от характерного для n-H_2 [4] и p-H_2 [5], полученных в поликристаллической форме. Прежде всего, кроме обычного перегиба, связанного с переходом к режиму пластического течения, имеется перегиб при сравнительно низких (5–8 гс/мм^2) напряжениях. Степенная зависимость $\sigma \propto \varepsilon^n$ оказывается более

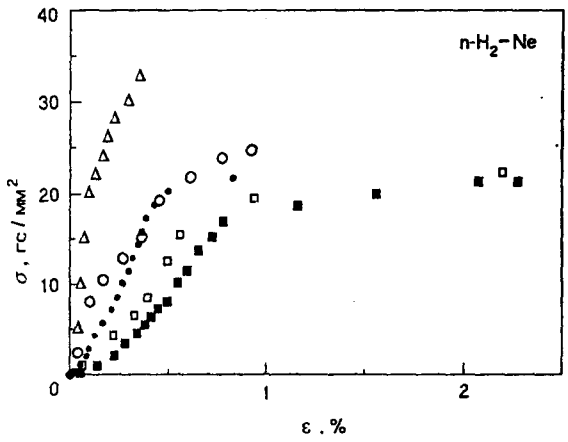

Рис. 1. Кривые упрочнения для слабых растворов Ne в n-H_2 с концентрациями неона 10^{-2} % (□, ■) и 10^{-3} % (○, ●) для температур вблизи 2 K (светлые символы) и 4,2 K (темные символы). Для сравнения показана кривая упрочнения для чистого n-H_2 [4] при $T = 2$K (△).

сильной для примесных ($1{,}8 \le n \le 2{,}8$) образцов (для чистого нормального водорода $n = 0{,}8$–$1{,}0$). На стадии, предшествующей разрушению, возникает аномально длинный и пологий участок. Отметим ряд других особенностей. Наблюдается явный пластифицирующий эффект примеси неона, т.е. при фиксированной температуре для достижения одной и той же деформации в кристалле с меньшей концентрацией Ne требовались более высокие нагрузки. Предел прочности примесных кристаллов оказался значительно ниже (примерно в 1,5 раза), чем для чистого n-H_2. С ростом температуры образцы твердых растворов Ne–n-H_2 для обеих указанных концентраций становились более пластичными. Тем не менее, несмотря на более сложный характер кривых упрочнения примесных образцов, предел текучести оказывается практически не подверженным влиянию концентрации примеси (и температуры).

Причиной, определяющей разупрочняющее влияние примеси неона, помимо изменения плотности дислокаций роста с концентрацией Ne, может оказаться особый механизм преодоления дислокацией кристаллического барьера вблизи примеси, которая в квантовом кристалле водорода имеет характер кластера [6,7].

Таким образом, обнаружено влияние примеси неона при его очень низкой концентрации на пластичность твердого нормального водорода, которое носит пластифицирующий характер. Детальное рассмотрение возможных механизмов наблюдаемого эффекта на основе анализа кривых упрочнения и данных по ползучести будет представлено в отдельной публикации.

В заключение авторы благодарят Л. А. Ващенко и Т. Ф. Лемзякову за приготовление разбавленных смесей неон–водород и их химический анализ, а также А. И. Прохватилова за полезные обсуждения.

Исследования, представленные в данной работе, были выполнены частично при поддержке Международного научного фонда в рамках гранта U9R000 (101453).

1. Л. А. Алексеева, М. Н. Казеев, *Препринт ИАЭ-5299/7*, ИАЭ им.И.В.Курчатова, Москва, (1991).
2. Н. Г. Березняк, А. А. Шейнина, Л. В. Карнацевич, *ФНТ* **1**, 780 (1975).
3. Т. Н. Анцыгина, Б. Я. Городилов, Н. Н. Жолонко, А. И. Кривчиков, В. Г. Манжелий, В. А. Слюсарев, *ФНТ* **18**, 417 (1992).
4. Л. А. Алексеева, О. В. Литвин, И. Н. Крупский, *ФНТ* **8**, 316 (1982).
5. Л. А. Алексеева, *Дисс.* к.ф.-м.н., ФТИНТ, Харьков (1986).
6. А. С. Барыльник, А. И. Прохватилов, М. А. Стржемечный, Г. Н. Щербаков, *ФНТ* **19**, 625 (1993).
7. А. С. Барыльник, А. И. Прохватилов, Г. Н. Щербаков, *ФНТ* **21**, 787 (1995).

Effect of neon impurities on the low-temperature plasticity of n-H_2

L. A. Alekseeva, M. A. Strzhemechny, and G. N. Shcherbakov

We report the results of plasticity studies on dilute mixtures of Ne in normal hydrogen under uniaxial extension at liquid helium temperatures for the neon fractions 0.01 and 0.001 % Stress-strain curves are obtained and the respective yield stresses determined. A pronounced plastifying effect of neon impurities has been found.