

УДК 669.788

ЭФФЕКТ ГОРСКОГО (к 80-летию выдающегося открытия В.С. Горского)

Вольфсон Е.Ф., исполнительный директор (efm.volfcon@mail.ru)

Некоммерческая организация фонд «Новик»
(249013, Россия, Боровск, пос. Институт, 4, оф. 49)

Аннотация. На основании проведенных исследований эффект Горского может иметь принципиальное значение при разработке технологий изготовления изделий из металлов прецизионной конфигурации (эталоны, инструменты, станки и т.д.). Явление, открытое В.С. Горским, продолжает раскрываться новыми гранями и, несомненно, ждет своего исследователя. С большой уверенностью можно сказать, что результаты, которые будут получены, превзойдут самые невероятные ожидания и прогнозы.

Ключевые слова: эффект Горского, водород, водород в металлах.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-5-357-359

Одним из основных направлений работы фонда «Новик» являются исторические патентные исследования и исследования по истории естествознания. Одно из таких исследований посвящено открытию в области диффузионных свойств водорода применительно к металлам. В 1935 г. в Харьковском институте теоретической и экспериментальной физики при исследовании изотермических деформаций на образцах из золотых мембран и проволок было обнаружено явление частичной релаксации заданных упругих деформаций в пластические, после чего удалось наблюдать деформации обратной направленности. В.С. Горскому удалось установить взаимосвязь релаксационных деформаций и диффузии атомов внедрения водорода. Первоначально эффект Горского использовался как методика изучения диффузионного поведения атома водорода в сплавах меди и золота. Довоенные исследования позволили разработать прецизионные методики измерения коэффициента диффузии водорода в металлах. Примечателен тот факт, что в разработке теоретических основ понимания процессов, составляющих сущность явлений, открытых Горским, особую роль сыграл совсем еще молодой и малоизвестный в то время физик-теоретик Л.Д. Ландау, впоследствии лауреат Нобелевской премии, чьим именем назван Институт теоретической физики (ИТФ) РАН. В ИТФ Л.Д. Ландау разработывал теорию среднего поля и анализировал фазовые переходы второго рода [1]. В 60-е и 70-е годы XX в. эффект Горского был в центре внимания научных исследований во многих странах, таких как США, Германия, Великобритания, Польша и др. Эффект Горского был подтвержден практически во всех металлах и большинстве сплавов. Исследования проводились в рамках разработки топливных элементов

для двигателей внутреннего сгорания, работающих на водороде.

Сущность явления, открытого Горским, проявляется в следующем. Дефекты, вызывающие искажения кристаллической решетки, традиционно описывают как упругие диполи. Переориентация анизотропных упругих диполей во внешнем поле деформаций приводит к появлению неупругих релаксаций. Имеет место частичная трансформация заданных упругих деформаций в пластические. Если дефекты обладают высокой подвижностью, как, например, водород в металлах, то возникает диффузионная релаксация в условиях градиента деформаций. Это явление вошло в историю науки как эффект Горского [2].

Для водорода в ОЦК металлах, по-видимому, выполняются все условия для наблюдения этих релаксационных процессов. Растворение водорода вызывает расширение решетки. В ОЦК структуре не существует междоузлий, обладающих полной кубической симметрией. Было экспериментально доказано, что водород в металлах Nb и Ta занимает тетраэдрические междоузлия. По этой причине следует ожидать, что упругий диполь будет анизотропным, а водород будет иметь высокую подвижность. Характерная величина коэффициента диффузии при комнатной температуре составляет $D \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Предложенное рассмотрение легко обобщается на случай поликристаллического образца, коим может быть, например, образец из инструментальной стали, находящийся на любом этапе термической обработки. Зеренная структура металла, имеющего кубическую решетку, позволяет его рассматривать как однородный объект с точки зрения моделей изгиба, разработанных в рамках теории упругости, но при этом кристаллиты представляют собой объекты, охваченные полем де-

формаций, которые испытывают неоднородную дилатацию. Неоднородная дилатация отдельного кристаллита зависит от ориентации кристаллита в пространстве, если изделие подвергнуто общему изгибу какой-либо внешней силой. Процессы релаксации заданной упругой деформации и ее частичную трансформацию в пластическую деформацию в неизотермических условиях корректно рассматривать в соответствии с эффектом Горского [2]. Также вправе ожидать и проявления эффекта запоминания формы под влиянием температурно-временного фактора вследствие самодиффузии водорода. Надо также учитывать влияние концентрации растворенного водорода на изменения удельного объема [3, 4].

Однако такое рассмотрение требует прямого подтверждения наличия растворенного водорода в том или ином объекте, который подвергается технологии термической обработки.

Наличие водорода в металлах во многих случаях рассматривается как результат повсеместного распространения атомарного водорода в природе, но при этом надо отметить наличие прямых исследований, подтверждающих присутствие водорода в металлах. Методики подобного рода исследований базируются на вакуумной экстракции в условиях нагрева.

Для описания деформаций применительно к эффекту Горского традиционно используют следующую символику. Упругую деформацию, возникающую под воздействием внешних факторов, обозначают ε^e , неупругую деформацию, возникающую вследствие диффузии водорода – ε^a , а полноту трансформации упругой деформации в пластическую (релаксационная сила) – $\Delta_E = \varepsilon^a / \varepsilon^e$. Многочисленные эксперименты по исследованию эффекта Горского, направленные, главным образом, на прецизионные измерения коэффициента диффузии водорода, показали в различных системах обратную зависимость релаксационной силы от температуры: $\Delta_E \sim T^{-1}$.

Важно отметить, что исследования эффекта Горского традиционно предполагают, что исходное состояние насыщенной водородом пластинки или проволоки, подвергаемой упругому изгибу, идеально соответствует прямолинейной конфигурации. Однако для проведения деформационных исследований на прецизионных изделиях и образцах применительно к требованиям, сложившимся в технологии производства инструмента, такое предположение некорректно и необходимо учитывать начальное коробление образца, а само деформационное состояние образца не всегда предполагает завершенность деформаций и нестабильно во

времени. Поэтому необходимо ввести в рассмотрение исходное коробление $\bar{\omega}$, а упругое деформирование проводить так, чтобы $\bar{\varepsilon}^e$ и $\bar{\omega}$ были антиколлинеарны. Вообще говоря, исходное деформационное состояние может сопровождаться короблением сложного характера, в связи с чем для проведения деформационных исследований целесообразно выбирать образцы с короблением с максимумом отклонения, близким к середине, при этом имеющем однонаправленный характер. Это обстоятельство существенно отличает реальную практику устранения коробления в термической обработке инструмента от методики исследования заданных деформаций.

Уместно также сделать замечание относительно нейтральной поверхности. Поверхность, на которой деформации обращаются в ноль внутри металлической пластинки, может существовать, так как миграция водорода предполагает возможным некоторое сжатие при уменьшении концентрации водорода по сравнению с первоначальной. На нейтральной поверхности концентрация водорода совпадает с первоначальной, в то время как с растянутой (выпуклой) стороны она увеличивается при приближении к поверхности, а с вогнутой стороны она уменьшается. Положение нейтральной поверхности может изменяться и смещаться в ту сторону образца, где происходит уменьшение концентрации водорода, т. е. в направлении вогнутой части изделия. Теоретическое описание изгиба пластин и цилиндрических стержней исследовано в классических трудах по теории упругости [5, 6].

Выводы. Эффект Горского может иметь принципиальное значение при разработке технологий изготовления изделий из металлов прецизионной конфигурации (эталоны, инструменты, станки и т.д.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ландау Л. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1937. Т. 7. С. 627.
2. Водород в металлах / Под ред. Г. Алефельда и И. Фелькля. Т. 1. – М.: Мир, 1981. – 475 с.
3. Goldberg H.A. Elastic interaction, spinodals, and density modes in thin metal-hydrogen systems // J. Phys. C, Solid State Phys. 1977. Vol. 10. No. 12(2059).
4. Горский В.С. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1936. Т. 6. С. 272.
5. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. – М.: Мир, 1965. – 204 с.

Поступила 30 марта 2016 г.

TO THE 80TH ANNIVERSARY OF THE FAMOUS OPENING OF V.S. GORSKII

E.F. Vol'fson**Non-profit organization "Novick Fund", Borovsk, Russia**

Abstract. According to the author of this article, Gorskii effect may be crucial in the development of technologies for the manufacture of precision metal configuration (standards, tools, machines). The phenomenon of V.S. Gorskii continues to reveal new facets and, of course, waits for its researcher and the author is confident that the results to be obtained will surpass the most incredible expectations and projections.

Keywords: Gorskii effect, hydrogen, hydrogen in metals.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-5-357-359

REFERENCES

1. Landau L. *Zhurnal eksperimental'noi i teoreticheskoi fiziki*. 1937, vol. 7, p. 627. (In Russ.).
2. *Hydrogen in Metals. Vol. 1. Basic properties*. Alefeld G., Völkl J. eds. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1978. (Russ. ed.: *Vodorod v metallakh. vol. 1*. Moscow: Mir, 1981, 475 p.
3. Goldberg H.A. Elastic interaction, spinodals, and density modes in thin metal-hydrogen systems. *J. Phys. C, Solid State Phys.* 1977, vol. 10, no. 12(2059).
4. Gorskii V.S. *Zhurnal eksperimental'noi i teoreticheskoi fiziki*. 1936, vol. 6. p. 272. (In Russ.).
5. Timoshenko S.P., Goodyear J.N. *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill, New-York, 1970. (Russ.ed.: Timoshenko S.P., Goodyear J. *Teoriya uprugosti*. Moskva: Nauka, 1975, 576 p.).
6. Landau L.D., Lifshits E.M. *Teoriya uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow: 1965, 204 p. (In Russ.).

Information about the authors:

E.F. Vol'fson, Executive Director (efm.volfson@mail.ru)

Received March 30, 2016