Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 5.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. И. КРАСНИКОВ, Л. И. СОТНИКОВА и Л. Г. ОРЛОВ

СДВИГ ГЛУБОКИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ АТОМОВ ЖЕЛЕЗА ПРИ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 23 II 1955)

§ 1. Систематические замерения смещений глубоких уровней $L_{II}L_{III}$ атомов элементов железной группы ведутся нами с 1939 г. Смещения уровней определяются по смещениям спектральных линий дублета $K_{\alpha_1\alpha_2}$ вторичных рентгеновских спектров (1). Все условия эксперимента, а также измерительная и вычислительная методика стандартизованы и остаются неизменными по настоящее время. Вследствие этого все наши результаты являются воспроизводимыми и сопоставимыми между собой.

Исследуемый образец при съемке спектров остается при комнатной температуре; на него действует только мощный пучок первичных рентгеновских лучей, возбуждающих флуоресцентное излучение образца.

§ 2. Серией работ (2) было установлено наличие сдвигов уровней $L_{II}L_{III}$ у атомов элементов хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди и цинка в функции от атомного номера элемента и от взаимодействия атомов металлов с кислородом и водородом. Смещения уровней подчинены общей закономерности. Кислород, как правило, увеличивает дублетное расстояние Δl $K_{\alpha_1-\alpha_2}$. Например, у Fe_2O_3 оно равно 2,012 мм, в то время как у чистого железа $\Delta l = 1{,}955$ мм при данных условиях эксперимента. Водород, наоборот, уменьшает величину Δl до 1,915 мм, т. е. сближает уровни $L_{II}L_{III}$. Таким образом, кислород снимает «вырождение» уровней $L_{II}L_{III}$, в результате чего выявляется сверхтонкая структура линий K_{α_1} и K_{α_2} (3). Водород же приводит к «вырождению» уровней и тем самым уничтожает эффект сверхтонкой структуры.

На основе всех этих результатов была установлена прямая связь между сдвигом уровней $L_{II}L_{III}$ и валентностью элемента. Увеличивая дублетное расстояние Δl при помощи кислорода и уменьшая его при помощи водорода, можно изменять «линейную дисперсию» у данного элемента в очень широких пределах, например, у железа от 2,012 до 1,915 мм, т. е. на 0,097 мм. Смежные элементы — марганец, железо и кобальт — имеют величины Δl, равные 2,165; 1,955; 1,795 мм, соответственно. Разности их составляют 0,210 и 0,160 мм. Таким образом, изменения Δl, связанные с действием кислорода и водорода, только в 1,5—2 раза меньше, чем изменения Δl при переходе от данного элемента к соседнему. Атомы металлов-присадок, например титана, хрома, никеля, вызывают, как и водород, уменьшение дублетного расстояния $K_{\alpha_1-\alpha_2}$ атомов железа.

У большинства образцов технических металлов при многократных съемках спектров от одной и той же излучающей поверхности величина Δl не остается строго постоянной. Часто она изменяется на величину, превышающую погрешность эксперимента в несколько раз.

Поэтому приходится изучать не только увеличение или уменьшение величины Δl, но еще и степень устойчивости энергетических состояний атомов данного образца во времени и при воздействии рентгеновских лучей. Отжиг, особенно длительный, сообщает атомам металла стабильные, устойчивые и более однородные состояния, и тогда наблюдаются хорошо воспроизводящиеся величины Δl. Закалка, наоборот, приводит к неустойчивым и неоднородным энергетическим состояниям атомов.

Таблица 1

Образцы	$\Delta lK_{\alpha_1-\alpha_2}$, мм	Разность Δl		
		мм	XE	эв
Fe „стандарт"	1,955±0,001	0,016	0,032	0,10
Он же, деформ. 45000 кГ/см² . . .	1,971±0,001			
Fe „стандарт"	1,954±0,001	0,042	0,084	0,27
Он же деформ. 80000 кГ/см² . . .	1,996±0,001			
Сталь У-12, отжиг	1,964±0,001	0,018	0,036	0,12
Она же деформ. 45000 кГ/см² . . .	1,982±0,001			
Сплав Fe+8%Cr, отжиг	1,934±0,001	0,031	0,062	0,20
Он же деформ. 45000 кГ/см²	1,965±0,001			
Сплав Fe+20%Cr+28%Ni отжиг . .	1,917±0,001	0,046	0,092	0,30
Он же деформ. 45000 кГ/см²	1,963±0,001			

Газонасыщенные металлы и сплавы всегда дают неустойчивые величины Δl, и в высоком вакууме при нормальной температуре они выделяют много газов, особенно водорода и CO. Переплав металла в высоком вакууме сообщает атомам устойчивые энергетические состояния, как и отжиг. Величина Δl во всех этих случаях может быть как увеличенной, так и уменьшенной, в зависимости от валентностных соотношений.

§ 3. Наличие данных по воздействию вышеуказанных факторов позволило приступить к изучению влияния на уровни $L_{II}\,L_{III}$ холодной деформации. В этом случае, благодаря исключению действия температуры и химического состава, представляется возможность установить прямую и почти однозначную связь между сдвигом уровней $L_{II}\,L_{III}$ и величиной холодной деформации. Холодная деформация производилась на 100-тонном и, частично, на 200-тонном прессе. Наибольшее число испытаний было проведено при удельной нагрузке 45000 кГ/см², что соответствует 60—80% деформации. При деформировании уделялось большое внимание чистоте соприкасающихся поверхностей металлов. Перед деформацией они зачищались и промывались чистым спиртом. После деформации образцы вручную шлифовались и затем полировались на сухой мелкой наждачной бумаге. Образцы имели размеры: $3\times11\times20$ мм. Съемка спектров производилась в первые часы после деформации, а повторные съемки делались в течение 2—3 дней.

§ 4. В табл. 1 приведены величины дублетного расстояния Δl, полученные при непосредственном измерении спектрограмм на компараторе; данные не содержат никаких поправок и исправлений. Образцы чистого железа — порошок фирмы Кальбаум и образец плавленого и полированного металла — в наших стандартных условиях эксперимента на протяжении 16 лет работы дают величину $\Delta l = 1{,}955\pm0{,}001$ мм. На одну пленку снимаются два сравниваемых дублета $K_{\alpha_1\alpha_2}$ один под

другим; они частично наложены друг на друга. В компараторе измеряются сразу оба дублета. Всегда проводятся сопоставления дублетов, полученных от изучаемого образца и металла-стандарта. Это делается для определения величины и направления смещений линий K_{α_1}, K_{α_2}, а также для контроля всех условий эксперимента. Расстояние между линиями дублета может изменяться только вследствие наличия разных по величине и направлению смещений уровней L_{II} L_{III}. В таблице разность Δl для двух сравниваемых дублетов выражена в мм, XE и эв. Вероятная погрешность измерений на компараторе равна $\pm 0{,}001$ мм, а суммарная погрешность эксперимента составляет $\pm 0{,}002$—$0{,}003$ мм.

В первой паре дублетов величина $\Delta l = 1{,}971$ мм, полученная для деформированного железа, является средней из 13 снимков, полученных от 9 разных образцов. Крайние значения величины Δl были 1,969 и 1,973 мм. Эта воспроизводимость величины дублетного расстояния устанавливает подлинность эффекта холодной деформации у чистого железа. Таким образом, в атомах железа после холодной деформации уровни L_{II} L_{III}, потенциалы ионизации которых равны 732 и 710 эв, соответственно, сдвинуты порознь и на разные величины. Далее приведено дублетное расстояние, полученное от образца железа, деформированного при нагрузке 80 000 кГ/см^2. В этом случае имеется еще большое различие смещений уровней L_{II} L_{III}. Величина $\Delta l = 1{,}996$ мм приближается к величине Δl атомов железа в Fe_3O_4, где она равна 2,005 мм. Очевидно, что при данной нагрузке действие холодной деформации вполне сравнимо с действием кислорода в окислах железа. Вместе с тем видно, что с увеличением нагрузки при деформации Δl тоже увеличивается.

От отожженного образца стали У-12 получено дублетное расстояние Δl атомов железа, равное 1,964 мм, т. е. на 0,009 мм больше, чем у железа-стандарта. Холодная деформация увеличила Δl еще на 0,018 мм, в то время как от закаленного образца стали У-12 получено $\Delta l = 1{,}972$ мм, т. е. на 0,008 мм больше, чем у отожженного.

У отожженного образца сплава Fe + 8% Cr дублетное расстояние Δl атомов железа уменьшено на 0,021 мм за счет действия атомов хрома, а холодная деформация при 45000 кГ/см^2 увеличила его на 0,031 мм, тогда как закалка в воде увеличила Δl на 0,029 мм.

От образца сплава железа с 20% Cr и 28% Ni получена резко уменьшенная величина Δl атомов железа, равная всего лишь 1,917 мм, повидимому, за счет совместного действия атомов хрома и никеля. В этом случае и холодная деформация дала наибольший эффект: Δl увеличено на 0,046 мм, или на 0,30 эв. Этот сплав обладает большой вязкостью.

Приведенные данные позволяют утверждать, что остаточная энергия холодной деформации (наклепа) железа частично обусловлена и изменениями глубоких уровней атомов.

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского
института черной металлургии

Поступило
16 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. И. Красников, ЖЭТФ, 9, в. 10, 1194 (1939); А. И. Красников, ЖЭТФ, 9, в. 10, 1204 (1939). [2] А. И. Красников, ЖЭТФ, 9, в. 11, 1346 (1939); А. И. Красников, ЖЭТФ, 14, в. 7—8, 285 (1944); А. И. Красников, Изв. АН СССР, ОТН, № 1, 133 (1946). [3] А. И. Красников, ДАН, 49, № 5, 346 (1945).