

ОБЩАЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УДК 541.138.2+546.11

ЭЛЕКТРООКИСЛЕНИЕ ВОДОРОДА НА ВОДОРОДНЫХ  
ЭЛЕКТРОДАХ С НИКЕЛЬ—АЛЮМИНИЕВЫМ  
КАТАЛИЗАТОРОМ РАЗНОГО СОСТАВА

Н. Ф. СЕМИЗОРОВА, Э. Г. МИСЮК,  
О. К. ДАВТЯН и Г. И. ЖУЛАВСКАЯ

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт  
комплексного электрооборудования

Поступило 14 VII 1969

Исследовано электроокисление водорода в интервале температур 30—200° и при давлении 1 и 20 атм на водородных электродах с никель—алюминиевым катализатором, содержание алюминия в котором варьирует в пределах 0,5—10 ат. %. Энергия активации этого процесса зависит от состава катализатора (минимальное значение ее соответствует катализатору, содержащему 1 ат. % Al), давления водорода и температуры.

Рис. 3, табл. 1, библиографические ссылки 11.

Целью настоящей работы является исследование процесса электроокисления водорода в интервале 30—200° на пористых двуслойных электродах, в которых в качестве катализатора используется система никель—алюминий; содержание алюминия в ней варьирует от 0,5 до 10 ат. %.

Методика исследования и полученные результаты

Электроды (диаметром 50 мм) были изготовлены металлокерамическим способом. Соотношение катализатора и опорного порошка никеля в активном слое электродов составляло 1:2,5 по весу.

Для приготовления Ni—Al катализаторов разного состава использовались основная углекислая соль никеля и азотнокислая соль алюминия. Навеска соли алюминия растворялась в таком количестве воды, чтобы при обработке соответствующего количества соли никеля образовалась однородная кашица. После сушки смеси солей разлагались в электропечи при 600° в течение 2 часов, а затем восстанавливались в токе водорода при 600° в течение 5—7 часов. Порошки растирались и просеивались через сито № 004. Порошок никеля готовился термической грануляцией порошка карбонильного никеля, после чего в него вводилось 10% порообразователя путем пропитки раствором карбоната аммония и последующей сушки. Размер частиц катализатора и порошка никеля колебался в пределах 10—40 мк. Активная

масса напрессовывалась на предварительно изготовленные (металлокерамическим путем) запорные слои при давлении  $1,5 \text{ т/см}^2$ , после чего электроды спекались в течение 1 часа при  $1000^\circ$  в атмосфере водорода. Указанным образом была изготовлена серия электродов, отличающихся по составу катализатора, содержащего 0; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 и 10,0 ат. % Al.

Исследование электрохимической активности электродов проводилось в электрохимической ячейке, которая позволяла поддерживать температуру электролита в интервале  $30\text{--}200^\circ$ , давление водорода—до  $20 \text{ атм}$  и обеспечивала автоматическое поддержание заданного перепада давлений между газом и электролитом на электродах. Электролитический водород из баллона редуцировался до необходимого давления, проходил систему очистки силикагелем и активированным углем и через систему автоматического поддержания перепада давлений подавался в газовые полости двух электрододержателей, в которых закреплялись однотипные электроды. Исследование электродов проводилось путем снятия поляризационных кривых при двух режимах работы электродов: I — в интервале  $30\text{--}100^\circ$ , давлении в  $1 \text{ атм}$  и перепаде давлений в  $0,3\text{--}0,4 \text{ атм}$  поляризационные кривые снимались после прогрева электродов до  $100^\circ$  и установления стабильного потенциала; II — в интервале  $50\text{--}200^\circ$ , давлении водорода над электролитом  $20 \text{ атм}$  и том же перепаде давлений, производился нагрев до  $200^\circ$  и после выдерживания в течение 4—5 часов снимались поляризационные кривые. В одном и том же интервале температур эти режимы отличаются только изменением давления водорода от 1 до  $20 \text{ атм}$ . Измерение поляризации исследуемого электрода производилось относительно аналогичного электрода, но не подвергающегося поляризации, с помощью потенциометра Р-307. В экспериментах при атмосферном давлении изменение потенциала контролировалось также по вольтовому электроду. Использовался 35%-ный раствор КОН с добавкой 4% LiOH. Поляризация электродов производилась постоянным током.

В таблице приводятся величины плотности тока ( $i$ ,  $\text{ма/см}^2$ ), полученные на основе поляризационных кривых всех типов электродов при пересечении их изопотенциальными прямыми  $\eta = 40, 60, 80$  и  $100 \text{ мв}$ .

На рисунке 1 приведены поляризационные кривые для электрода, содержащего катализатор с 1 ат. % Al. Общий ход этих кривых характерен и для всех других электродов, но в зависимости от содержания алюминия в катализаторе их наклон к оси абсцисс меняется, обуславливая разную плотность тока при одинаковой поляризации для данной температуры.

На основе данных таблицы графическим путем определена энергия активации суммарного процесса электроокисления водорода. На рисунке 2 (А и В) представлены в качестве примера (как типичные для всех электродов) зависимости  $\lg i - \frac{1}{T}$  при поляризации 40, 60,

Таблица

Зависимость плотности тока от величины поляризации и температуры на электродах с никель—алюминиевым катализатором разного состава при давлении водорода в 1 и 20 атм (соответственно I и II режимы) и перепада давлений 0,3—0,4 атм ( $C_{Al}$  — концентрация Al в катализаторе, ат. %)

		t, °C																	
i, ма/см <sup>2</sup>	η, мв	30		50		60		70		80		90		100		125	150	175	200
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	II	II	II	II		

 $C_{Al} = 0,0$  ат. %

40	1,1	1,8	0,6	2,2	0,9	2,8	1,4	3,3	2,0	4,0	3,4	4,9	6,0	13,0	23,0	33,0	40,0
60	1,6	2,6	0,8	3,0	1,4	3,6	2,1	4,3	2,7	5,4	4,5	6,5	8,0	20,0	32,0	45,0	52,0
80	2,1	3,2	1,0	3,8	1,9	4,2	2,5	5,3	3,7	6,6	5,2	7,8	9,7	25,0	40,0	55,0	65,0
100	2,6	4,0	1,6	4,6	2,4	5,0	3,2	6,0	4,3	8,0	6,3	9,3	11,4	29,5	47,0	67,0	77,0

 $C_{Al} = 0,5$ 

40	0,9	1,3	1,0	1,5	1,4	1,7	2,0	2,7	2,8	3,2	4,8	4,5	6,0	14,0	21,0	28,0	42,0
60	1,5	2,0	1,7	2,3	2,0	2,5	2,9	3,7	4,0	4,5	6,2	6,1	8,0	18,0	30,0	37,0	59,0
80	2,0	2,7	2,0	3,0	2,6	3,4	3,8	4,5	5,1	5,6	7,2	7,4	9,6	21,0	36,0	45,0	72,0
100	2,5	3,3	2,6	3,7	3,2	4,1	4,5	5,7	6,0	6,8	8,0	8,8	10,8	24,0	41,0	51,0	85,0

 $C_{Al} = 1,0$ 

40	1,7	2,0	3,5	2,4	4,0	2,7	5,6	3,0	6,0	3,3	9,0	4,0	16,0	32,0	41,0	52,0	70,0
60	2,2	2,8	4,2	3,3	4,8	3,7	6,9	4,2	8,0	4,6	11,6	5,7	24,0	48,0	61,0	80,0	96,0
80	2,7	3,6	4,7	4,2	5,6	4,8	8,2	5,3	10,0	6,0	15,0	7,3	32,0	64,0	80,0	100,0	120,0
100	3,1	4,3	5,2	5,0	6,4	6,0	9,4	6,6	14,0	7,2	18,8	8,8	—	79,0	97,0	113,0	136,0

 $C_{Al} = 2,5$ 

40	0,7	1,1	1,7	1,3	2,4	1,9	—	3,0	3,4	3,3	4,0	4,4	6,0	12,0	28,0	45,0	51,0
60	1,1	1,8	2,2	2,3	3,2	3,0	—	4,4	4,6	4,8	5,2	6,2	8,0	13,0	42,0	60,0	70,0
80	1,6	2,6	2,7	3,0	4,0	4,0	—	5,4	5,7	6,0	6,0	7,6	10,4	16,0	51,0	72,0	87,0
100	2,0	3,2	3,0	3,6	4,6	5,1	—	6,6	6,6	7,2	7,5	9,3	12,4	20,0	58,0	81,0	101,0

 $C_{Al} = 5,0$ 

40	1,1	2,0	1,9	2,3	2,0	3,1	2,8	3,3	—	4,0	3,8	5,9	4,6	9,0	17,0	28,0	36,0
60	1,6	2,7	2,4	3,3	2,7	4,6	3,6	4,9	—	6,0	4,9	8,0	6,0	12,0	23,0	38,0	49,0
80	2,8	3,6	2,9	4,2	3,2	6,0	4,3	6,4	—	7,6	6,0	9,6	6,8	14,0	28,0	48,0	58,0
100	3,4	4,3	3,3	4,9	3,6	7,4	4,9	7,8	—	9,4	6,7	11,5	7,5	17,0	32,0	55,0	66,0

 $C_{Al} = 7,5$ 

40	1,2	2,0	2,0	2,5	2,4	2,7	2,6	3,2	3,4	4,0	4,4	5,6	5,5	10,0	16,0	27,0	35,0
60	1,7	2,9	2,5	3,6	3,0	3,8	3,5	4,3	4,4	5,7	5,4	7,8	5,8	14,0	21,0	37,0	49,0
80	2,2	3,6	2,9	4,6	3,6	4,8	4,2	5,4	5,4	7,2	6,4	10,0	8,2	16,0	26,0	46,0	60,0
100	2,7	4,6	3,3	5,4	4,0	5,6	4,7	6,5	6,2	8,8	7,3	12,0	9,4	18,0	30,0	54,0	70,0

 $C_{Al} = 10,0$ 

40	0,7	1,2	2,2	1,6	—	2,4	2,8	4,0	3,6	5,4	4,7	6,8	7,2	10,0	16,0	35,0	50,0
60	1,1	1,9	2,7	2,3	—	3,7	3,6	5,9	4,8	7,8	6,4	9,3	9,4	13,0	22,0	50,0	69,0
80	1,6	2,7	3,1	3,2	—	4,8	4,5	8,0	6,0	10,0	8,4	12,0	11,6	16,0	27,0	63,0	82,0
100	2,2	3,6	3,5	4,0	—	6,0	5,2	10,0	7,2	12,6	10,6	14,7	13,4	19,0	33,0	73,0	95,0

80 и 100 мв для электродов, исследованных при режимах I и II, соответственно.

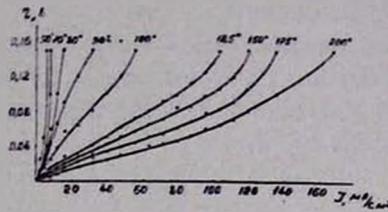


Рис. 1. Поляризационные кривые электроокисления водорода в интервале 50—200°, давления в 1 атм, перепаде давлений 0,3—0,4 атм на электроде, содержащем катализатор с 1 ат. % Al.

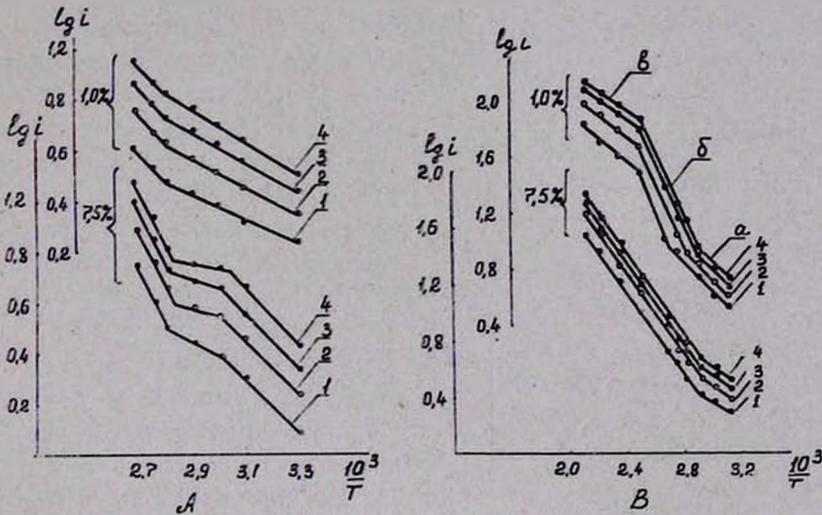


Рис. 2. Изменение логарифма плотности тока на водородном электроде с катализатором, содержащим 1,0 и 7,5 ат. % Al, от обратной абсолютной температуры при поляризациях: 1 — 40; 2 — 60; 3 — 80; 4 — 100 мв; А — давление водорода — 1 атм; В — 20 атм.

На рисунке 2А приведены два типа кривых, соответствующих электродам, содержащим катализаторы с 1,0 и 7,5 ат. % Al. Первые кривые имеют два прямолинейных участка с одним перегибом. Такие же кривые характерны и для катализаторов с 0,5 и 2,5 ат. % Al. Вторые кривые характерны для катализаторов с 0,0; 5,0; 7,5 и 10 ат. % Al. Прямолинейные участки в областях 30—60 и 80—100° разделены переходной областью 60—80°, в которой рост плотности тока с температурой замедляется; начиная с 80° наблюдается более резкий наклон прямых. В областях 30—60 и 80—100° на электродах разного состава электроокисление водорода при давлении в 1 атм обусловлено двумя значениями энергии активации, каждое из которых зависит от состава катализатора.

При повышении давления водорода до 20 атм и расширении области температуры (50—200°) наблюдаются зависимости  $\lg i - \left(\frac{1}{T}\right)$ , подобные приведенным на рисунке 2В для катализаторов с 1,0 и 7,5 ат. % Al. Для катализаторов с 0,0; 0,5; 2,5 и 5,0 ат. % Al эти зависимости имеют такой же вид, как и для катализатора с 1 ат. % Al, т. е. наблюдаются три участка (а, б, в), соответствующие интервалам температур 50—80, 80—100 и 100—200°, причем участки а и в — более пологие, а участок б — крутой. Зависимости, полученные для катализатора с 7,5 ат. % Al, характерны также для катализатора с 10,0 ат. % Al. В данном случае наблюдаются только два прямолинейных участка в области температур 50—70 и 70—200°. Подобно зависимостям, приведенным на рисунке 2А, и характерным для электроокисления водорода при давлении в 1 атм, наклон участков а, б и в зависимостей  $\lg i - \frac{1}{T}$

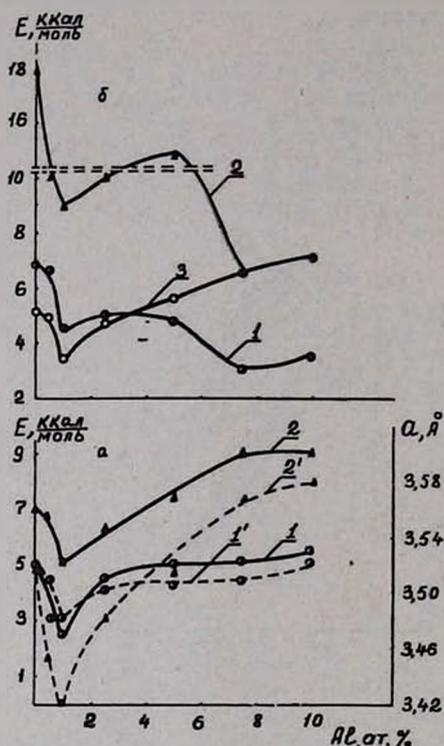


Рис. 3. Зависимость энергии активации электроокисления водорода от состава катализатора при давлениях водорода в 1 атм (а) и 20 атм (б), в интервале температур: 1—30—80; 2—80—100 и 3—100—200°. Кривыми 1' и 2' обозначены изменения параметра решетки поверхностного слоя и объема кристалла, полученные в [1].

для этого процесса при давлении водорода в 20 атм не изменяется с поляризацией электродов и зависит от их состава. На рисунке 3 (а и б) приведены значения энергии активации суммарного процесса электроокисления водорода при давлении в 1 и 20 атм, соответственно, в зависимости от состава катализатора. Одновременно для сравнения на рисунке 3а приводятся кривые изменения параметра решетки катализаторов, определенные рентгенографическим (кр. 1') и электронографическим (кр. 2') методами в работе [1]. Как следует из рисунка 3 (а, б), энергия активации суммарного процесса электроокисления водорода на никель—алюминиевом катализаторе зависит от содержания в нем алюминия. Кроме того, для одного и того же состава наблюдаются разные значения энергии активации, обусловленные различными режимами исследования электродов. При 30—80° и 1 атм (кр. 1, рис. 3а) энергия активации изменяется в пределах 2,5—5,5 ккал/моль; при этом минимум наблюдается

для катализатора, содержащего 1,0 ат. % Al. При более высоких температурах (80—100°) энергия активации (кр. 2, рис. 3а) увеличивается на 2,5—3,5 ккал/моль, т. е. в зависимости от состава она изменяется в пределах 5,0—9,0 ккал/моль. Минимум ее соответствует, по-прежнему, катализатору, содержащему 1,0 ат. % Al. Сопоставление этих кривых с кривыми изменения параметра решетки (1' и 2') показывает, что в интервале низких температур (30—80°) энергия активации изменяется с составом катализатора симбатно изменению параметра решетки в объеме (кр. 1 и 1'), в то время как в интервале 80—100° изменение ее сходно с изменением параметра решетки поверхностного слоя катализатора (кр. 2 и 2').

Повышение давления с 1 до 20 атм в этих интервалах температур приводит к более сложной зависимости энергии активации от состава катализатора (рис. 3, кр. 1 и 2). Первоначальный ее ход восстанавливается, когда при этом давлении температура повышается до 100—200° (рис. 3б, кр. 3).

### Интерпретация полученных результатов

1. Возникает вопрос, чем обусловлены наблюдающиеся закономерности в изменении энергии активации суммарного процесса электроокисления водорода и как протекает этот процесс, каков его механизм.

Мы считаем, что этот суммарный процесс включает в себя следующие возможные процессы: 1) диффузию водорода к поверхности катализатора в газовой фазе и пленке электролита; 2) хемосорбцию его на этой поверхности; 3) миграцию хемосорбированного водорода от места хемосорбции к участкам поверхности, где происходит его ионизация. Этот процесс может происходить как на доли поверхности, находящейся в контакте с газом, так и на поверхности, находящейся в контакте с электролитом; 4) ионизацию атомов водорода, т. е. электрохимическую стадию процесса.

Если бы лимитирующим был процесс диффузии водорода в порах электрода или пленке электролита, энергия активации не зависела бы от состава катализатора. В действительности этого не наблюдается. Сопоставление полученных нами данных с энергией активации хемосорбции водорода, определенной экспериментально (1,5 ккал/моль [2], 15,4 ккал/моль [3], 22,9 ккал/моль [4, 5]) и рассчитанной теоретически (57—75 ккал/моль [3]), показывает, что они меньше этих значений (величина 1,5 ккал/моль относится к интервалу температур 0—30°) и, следовательно, процесс электроокисления не лимитируется хемосорбцией водорода. Независимость энергии активации суммарного процесса от величины поляризации является показателем того, что электрохимическая стадия (процесс ионизации атомов водорода) также не является лимитирующей.

Таким образом, по методу исключения приходится принять, что лимитирующим является процесс миграции водорода. Если сопоставить зависимость энергии активации электроокисления водорода при атмосферном давлении в интервале  $30-80^\circ$  от состава катализатора (рис. 3а, кр. 1) с энергией активации миграции в тех же условиях водорода, хемосорбированного на этих же катализаторах, полученной нами в работе [6], станет видно, что они совершенно аналогичны (ход кривых и величины энергии активации одинаковы). Это является доказательством того, что лимитирующей стадией суммарного процесса электроокисления водорода действительно является процесс миграции хемосорбированного водорода от места его хемосорбции к участкам, где происходит ионизация.

2. Чем же обусловлено наблюдающееся изменение энергии активации с составом катализатора? Результаты исследования структуры катализатора показывают, что параметр решетки его изменяется с составом так, как это представлено на рисунке 3а (кр. 1'). Это значит, что  $d$ -характеристика, по Полингу [7], должна изменяться в них в обратной зависимости, т. е. наибольшему уменьшению параметра решетки будет соответствовать наибольшее увеличение  $d$ -характеристики, а это, в свою очередь, влияет на прочность связи, и, следовательно, на теплоту хемосорбции и энергию активации суммарного процесса электроокисления водорода.

3. Какова же причина изменения энергии активации электроокисления водорода повышением температуры при давлении водорода в 1 атм (рис. 3а, кр. 2)? Эти результаты можно объяснить, если рассматривать две формы адсорбции водорода на никеле: молекулярную и атомарную. Подтверждением существования этих форм адсорбции является целый ряд работ [8—10 и др]. Молекулярная форма имеет положительный заряд и рассматривается как молекулярный ион водорода; это — слабая форма хемосорбции. Атомарная форма имеет небольшой отрицательный заряд и характеризуется как прочная хемосорбция. Указанные две формы хемосорбции водорода сосуществуют на поверхности катализатора. Миграция их должна происходить с разной энергией активации: слабая форма, которая десорбируется при  $30-80^\circ$  — с малой энергией активации, и прочная форма, десорбирующаяся при  $100^\circ$  и выше — с большей энергией активации. Изменение условий (температура, давление водорода) приводит к изменению доли этих форм хемосорбции водорода на поверхности катализатора, а поэтому и степени участия их в процессе миграции водорода и его электроокисления.

Рассмотрим с этой точки зрения результаты, полученные при давлении водорода в 1 атм (рис. 3а, кр. 1, 2). Процесс электроокисления водорода при этих условиях можно представить таким образом. При хемосорбции водорода образуются прочная форма (связанная с диссоциацией молекулы на атомы и локализирующаяся на определенных активных центрах) и слабая форма. Поскольку в указанном интервале

температур первая не обладает подвижностью, доставка водорода к контакту трех фаз осуществляется за счет миграции молекулярной формы адсорбции водорода по поверхности катализатора, покрытой локализованной атомарной формой. Кривая 1 на рисунке 3а выражает изменение энергии активации процесса, лимитируемого этой миграцией. Идентичность кривой 1 (рис. 3а) и кривой, представленной на рисунке 5 работы [6], выражающей зависимость энергии активации миграции хемосорбированного водорода, указывает на то, что процесс жидкофазного гидрирования малеиновой кислоты в интервале 25—60° контролируется также миграцией молекулярной формы хемосорбированного водорода. Полученное в работе [11] значение энергии активации миграции молекулярной формы водорода на напыленных пленках никеля (3,4 ккал/моль) находится в достаточном согласии с нашими данными и подтверждает правильность интерпретации процесса электроокисления водорода в интервале 30—80° и давлении в 1 атм.

При 80—100° молекулярная форма десорбируется, остается, главным образом, атомарная форма, миграция которой протекает с большей энергией активации. Это приводит к увеличению энергии активации суммарного процесса (кр. 2. рис. 3а).

4. Как отмечалось, кривые 1 и 2 рисунка 3а аналогичны кривым изменения параметра решетки катализаторов с изменением их состава (кр. 1' и 2'), полученным рентгенографическим и электронографическим методами и отражающими объемные и поверхностные свойства, соответственно. Подвижность (или десорбция) слабо связанной формы, имеющей положительный потенциал, связана с частичным (или полным) присоединением электрона. Последнее, в основном, определяется работой выхода электрона и, следовательно, объемными свойствами металла. Этим объясняется сходство кривых 1 и 1' на рисунке 3а. При повышенных же температурах (80—100°) прочно связанная форма приобретает подвижность. Скорость миграции ее и энергия активации этого процесса, в основном, будут определяться прочностью связи с поверхностными атомами, и, следовательно, они будут зависеть от структуры поверхностного слоя катализатора. Поэтому кривые 2 и 2' на рисунке 3а сходны.

5. Повышение давления водорода до 20 атм существенным образом сказывается на зависимости энергии активации электроокисления водорода от состава катализаторов (рис. 3б). В температурном интервале 30—80° наблюдается зависимость, представленная кривой 1, ход которой объясняется, по-видимому, разным влиянием давления водорода на соотношение форм хемосорбции водорода на катализаторах разного состава. При повышении температуры от 30—80 до 80—100° при указанном давлении энергия активации электроокисления водорода возрастает (кр. 2, рис. 3б) подобно тому, как это наблюдалось и при давлении в 1 атм, и объясняется теми же причинами (т. е. преимущественным участием в электроокислении водорода его атомарной формы): однако возростание это в случае высокого давления бо-

лее значительно (особенно для катализаторов с 0,0 и 0,5 ат. % Al) и может быть обусловлено тем, что электроокислению могут подвергаться также атомы водорода, диффундирующие из решетки катализатора. Дальнейшее повышение температуры до 100—200° приводит к превращению атомарной формы хемосорбированного водорода в молекулярную; поэтому процесс электроокисления протекает преимущественно с участием молекулярной формы водорода, мигрирующей на поверхность катализатора, вследствие чего энергия активации этого процесса уменьшается (кр. 3, рис. 3б).

Итак, полученные результаты показывают, что процесс электроокисления водорода является довольно сложным; он зависит от соотношения форм адсорбции водорода и определяется их миграцией. Соотношение же форм адсорбции водорода зависит как от природы катализатора, так и от условий (температуры, давления). Поэтому в различных условиях на Ni—Al катализаторах разного состава процесс электроокисления протекает с разной энергией активации.

### ՋՐԱԾՆԻ ԷԼԵԿՏՐՈՔՍԻՂԱՑՈՒՄԸ

Ն. Յ. ՍԵՄԻՉՈՐՈՎԱ, Է. Գ. ՄԻՍՅՈՒԿ, Զ. Կ. ԴԱՎԹՅԱՆ և Գ. Ի. ԺՈՒԼԱՎՍԿԱՅԱ

#### Ա մ փ ո փ ու մ

Հետազոտված է ջրածնի էլեկտրաօքսիդացումը ջրածնական էլեկտրոդների վրա, Ni—Al կատալիզատորի օգնությամբ (Al-ի բաղադրությունը՝ 0,5—10 ատ. %), 30—200°C-ում, 1 և 20 մթն ջրածնի ճնշման, ճնշման 0,4 մթն անկման պայմաններում: Հաստատված է, որ այդ պրոցեսի ակտիվացման էներգիան կախված չէ էլեկտրոդի բեռացումից և փոփոխվում է՝ կախված կատալիզատորի բաղադրությունից և պրոցեսի պայմաններից (ջերմաստիճան, ջրածնի ճնշում):

30—80° ջերմաստիճանային տիրույթում և ջրածնի 1 մթն ճնշման պայմաններում ստացված ակտիվացման էներգիայի մեծությունները համընկնում են այդ կատալիզատորների վրա քիմիապես սորբված ջրածնի միգրացիայի ակտիվացման էներգիայի մեծությունների հետ: Ելնելով դրանից և հաշվի առնելով նիկելի վրա ջրածնի քիմիական սորբցիայի ակտիվացման մեծությունը, գալիս ենք այն եզրակացության, որ ջրածնի էլեկտրաօքսիդացման արագությունը որոշող պրոցեսը ջրածնի միգրացիան է՝ սկսված նրա ադսորբված տեղից դեպի այն գոտին, որտեղ անմիջականորեն կատարվում է էլեկտրաօքսիդացումը:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. О. К. Давтян, Э. Г. Мисюк, Н. Ф. Семизорова, А. Н. Софронков, Арм. хим. ж. (в печати).
2. Ж. Жермен, Гетерогенный катализ, ИЛ, Москва, 1961, стр. 71.

3. *G. Okamoto, J. Horluti, K. Hirota*, Sci. Papers Inst. Phys. Chem. Research (Tokyo), 29, 223 (1936).
4. *О. С. Ксенжук*, Топливные элементы, Изд. „Наука“, Москва, 1964, стр. 4.
5. *Э. Юсти, М. Пилькун, В. Шайбе, А. Винзель*, Высокоактивный водородный диффузионный электрод, ИЛ, Москва, 1962.
6. *Э. Г. Мусюк, Н. Ф. Семизорова, Л. К. Ягунова*, Арм. хим. ж. (в печати).
7. *L. Pauling*, Proc. Roy Soc., A 196, 343 (1949).
8. *W. A. Pllskin, R. P. Eischens*, Z. phys. Chem., 24, b. 1—2 (1960).
9. *G. C. P. Mignolet*, Discuss. Farad. Soc., 8, 105 (1950).
10. *W. M. H. Sachtler, G. J. H. Dorgelo*, Bull. Soc. Chim. Belg., 67, 465 (1958).
11. *T. A. Delchar, F. C. Tompkins*, Trans. Farad. Soc., 64, 1915 (1968).