

УДК 621.9.04

А.И. Сошко, В.О. Сошко

## ВЛИЯНИЯ ФОРМ СОСТОЯНИЯ ВОДОРОДА НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

*У роботі викладається методика дослідження впливу випромінювань (як джерело електронів був обраний талій-204 з енергією 0,765 MeV активністю 600 мкюрі) на ступінь іонізації газового середовища (водень) і її вплив на процеси деформації і руйнування сталі. Для проведення роботи була спроектована і виготовлена розривна машина з іонізаційною камерою і вимірвальним пристроєм струму іонізації.*

**Введение.** Достигнутые важнейшие успехи, в первую очередь, в научном направлении физико-химической механики материалов [1-3] и смежными с ней другими областями науки повлекли за собой быстро углубляющиеся понимание процесса разрушения твёрдого тела в условиях влияния на него различных жидких и газовых сред. Результаты этих исследований позволили предложить гипотезу о возможном существенном повышении эффективности смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) для механической обработки металлов резанием и давлением за счёт введения в состав технологических средств добавок высокомолекулярных соединений заданного химического состава [4].

Первые опыты, проведённые в этом направлении, показали, что в результате термомеханохимических превращений полимерной присадки в составе СОТС (эмульсионный полиэтилен или поливинилхлорид) в зоне резания образуются некоторые газы, которые демонстрируют высокую трибологическую активность. На основе этих экспериментальных результатов были сформулированы рекомендации по разработке СОТС нового поколения, содержащие высокомолекулярные соединения, разработано несколько разновидностей таких СОТС и технических условий на их серийное производство, организовано серийное производство и осуществлено их внедрение [5] на машиностроительных предприятиях.

Такие СОТС отличаются высокой эффективностью: многократно повышается стойкость режущего инструмента, снижается усилие резания, повышается качество обработанной поверхности. Особенностью полимерсодержащих СОТС является также высокая микробиологическая устойчивость, обеспечивающая их длительную эксплуатацию.

Вместе с тем, практический опыт применения СОТС нового поколения свидетельствовал о том что в разработанных составах далеко не полностью используются возможности полимерных присадок к СОТС.

В частности, уже на начальном этапе исследований, которые развивали представления о механизме явлений, наблюдаемых в процессах обработки резанием металлов и сплавов, полученные результаты давали основания полагать [6], что проявление термо-механохимического эффекта характерно не только непосредственно различным видам обработки резанием, но и вообще самым разнообразным случаям преодоления сцепления в твёрдых телах: при измельчении, в процессах трения, смазки, изнашивания и при любых других контактных взаимодействиях, включая обработку давлением, гомогенизацию и формование всевозможных вязкопластичных и сыпучих дисперсных систем и т.д. [6].

Поэтому дальнейшие исследования, направленные на выяснение физической сущности процессов и явлений, происходящих при взаимодействии металла срезаемого слоя с компонентами, входящими в состав полимерсодержащих СОТС, и создание на этой основе теории такого явления, представляют собой актуальную задачу.

В связи с этим, исследования были сконцентрированы главным образом на детальном изучении физико-химических превращений полимерного компонента СОТС под влиянием температуры зоны резания, состава образующих при этом газообразных продуктов и их модельных соединений, выявлении влияния тех или иных компонентов газовой смеси на процесс резания.

Было установлено [6], что в результате пиролитических превращений исходной присадки СОТС, у лезвия режущей кромки инструмента образуется водород и углерод в атомарной и другой активной форме (ионы, радикалы, ион-радикалы), которые приводят к наводороживанию материала, в основном, в области предразрушения и перманентной карбонизации режущей кромки инструмента [6]. Протекание в области зоны резания таких процессов способствуют сильной трибологической активности СОТС и существенном улучшении обрабатываемости материала.

Здесь необходимо подчеркнуть, что познание такого исключительно сложного по своей многоплановости и экстремальности условий протекания процесса, каковым является процесс резания

металла при непрерывном поливе жидкости с несколькими десятками растворённых и эмульгированных в ней компонентов, чрезвычайно затруднённо.

Вместе с тем, было выделено ряд проблем, решение которых даёт возможность продвинуться в данном вопросе в правильном направлении. Среди них наиболее важная – выявление влияния низкотемпературной плазмы (ионизированного водорода) на процессы протекания от упругой и пластической деформации до различных видов разрушения.

Следует отметить, что изучение явлений, происходящих при взаимодействии водорода и его активных форм с деформируемым металлом, представляет интерес не только в связи с механической обработкой металла, но и для научно-обоснованного использования эффекта данного взаимодействия в целях получения необходимого положительного результата в отношении защиты конструкционных металлов от нежелательных последствий этих процессов [3,7].

Известно, что в природе водород может находиться в молекулярном, атомарном и ионном состоянии. Ясно, что в связи с различными формами состояния водорода, возникает и многообразие явлений его взаимодействия с деформируемым металлом. Обычно изменения процесса деформации и разрушения сплавов железа относят на счёт взаимодействия металла с водородом, находящимся в атомарном или ионном состоянии [3,8], в то время как водород в молекулярном состоянии не влияет на эти процессы [3,8]. Вместе с тем, эти выводы в основном основываются на феноменологических рассуждениях о влиянии формы состояния водорода на процессы деформации и разрушения металла, что, по-видимому, связано с экспериментальными сложностями.

В связи с этим, нами была разработана методика, создано специальное оборудование и аппаратное оснащение, что позволяет осуществлять прогнозируемый перевод молекулярного водорода в атомарное или ионное состояние, контролировать и оценить влияние таких форм водорода на прочностные характеристики стали.

Известно [8], что при воздействии на молекулярный водород волновых и корпускулярных излучений, происходит изменение энергетического состояния молекул водорода с образованием электрически заряжённых частиц (молекулярный ион, атомарный ион, метастабильный атом).

Например, при неупругих столкновениях электрон теряет часть своей кинетической энергии, которая расходуется на возбуждение внутренней энергии атома. Если энергия электрона достаточна для того, чтобы возбуждённый атом испустил один или несколько электронов, происходит ионизация атома. В противном случае, происходит неионизирующее столкновение, при котором атом остаётся в возбуждённом состоянии. Несмотря на то, что торможение электронов обусловлено ионизацией и возбуждением среды, эти потери называют ионизационными [9].

Вид и энергия радиационных излучений влияют на степень ионизации газовой среды. В результате изменения физического и химического состояния газовой среды изменяется характер взаимодействия газа с поверхностью твёрдого тела. При этом в данном случае очень важным является количественная оценка состояния газовой среды (определение количества ионизированных атомов или молекул) при воздействии радиационных излучений, а также характер и количественные изменения физико-механических свойств материалов.

В настоящей работе излагается методика исследования влияния излучений (в качестве источника электронов был выбран таллий-204 с энергией 0,765 Мэв, активностью 600 *мюри*) на степень ионизации газовой среды (водород) и её воздействие на процессы деформации и разрушения стали.

Для проведения работы была спроектирована и изготовлена разрывная машина с ионизационной камерой (см. рис. 1) и измерительным устройством тока ионизации.

Ионизационная камера представляет собой замкнутый объём цилиндрической формы ( $d=80$  мм,  $l=100$  мм), внутри которой расположены два электрически изолированные друг от друга электрода. В рабочем положении к электродам подводится постоянное напряжение, в результате чего один из них заряжается положительно, другой – отрицательно. Положительным электродом в данной конструкции является токоподводящий слой (аквадаг), которым покрывалась внутренняя цилиндрическая часть камеры, изготовленной из оргстекла отрицательным, – образец, тщательно изолированный от тяг машины.

В обычных условиях при отсутствии радиационных излучений газ между электродами служит изолятором, и ток в цепи камеры отсутствует. При воздействии радиационного излучения газ ионизируется, и в цепи камеры возникает ионизационный ток, который регистрируется специальным прибором.

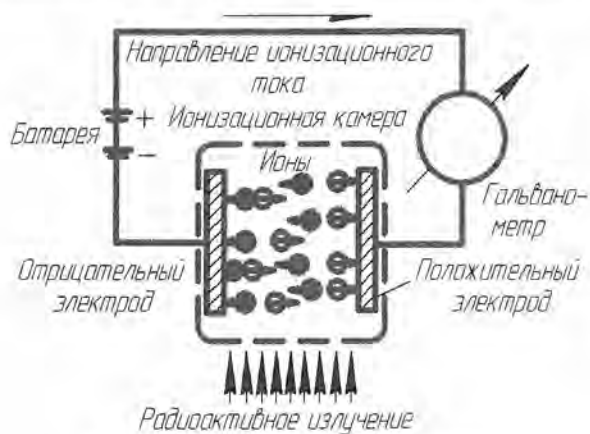


Рис. 1. Принцип работы ионизационной камеры

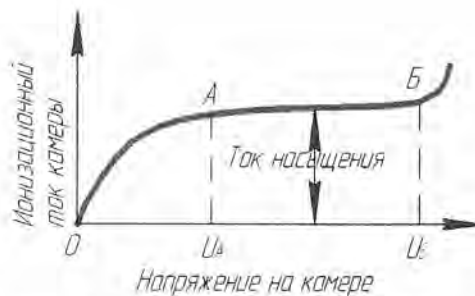


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика ионизационной камеры

Величина ионизационного тока при заданном объеме и геометрии камеры зависит от состава газовой среды, величины напряжения, приложенного к электродам камеры (рис.2), и мощности дозы радиоактивного излучения.

При достаточно большом напряжении ( $U_A$ ) все образующиеся ионы достигают электродов камеры и дальнейшее повышение напряжения не приводит к увеличению ионизационного тока (участок АБ); величина ионизационного тока при этом прямо пропорциональна мощности дозы излучения. Рекомбинация ионов в межэлектродном промежутке при работе камеры в режиме насыщения равна нулю. Величину прикладываемого напряжения для осуществления режима насыщения находят в пределах  $U_A=800$  в,  $U_Б=1800$  в. Рабочее напряжение во время экспериментов было  $U=1200$  в. Измерительный прибор имеет 6 диапазонов, позволяющих производить измерение тока от  $2,12 \cdot 10^{-11}$  до  $2,12 \cdot 10^{-6}$  а. Благодаря широкому диапазону измерений, прибор позволяет фиксировать токи ионизации при активности радиоактивных излучателей от 1 до 1000 мкюри.

Для уменьшения ионизационных потерь радиоактивные  $\beta$ -излучатели  $Tl = 204$  помещались внутри камеры на его торцовых крышках. Исследуемая газовая среда подавалась в камеру через газгольдер. Продувка камеры проводилась в течении времени, необходимого для получения однородной газовой среды. По ходу эксперимента в герметичной камере поддерживалось небольшое избыточное давление газа ( $P_{изб} = 15$  мм вод.ст.).

Деформирование образцов в газовой среде производилось на разрывной машине, специально сконструированной для проведения экспериментов с радиоактивными излучателями и установленной в защитной камере 2 УКЗ. Это дало возможность работать с препаратами активностью до 1000 мкюри.

Разрывная машина была спроектирована таким образом, что образцы и препараты устанавливались в ионизационную камеру дистанционно, с помощью шпаловых манипуляторов.

Разрывная машина, в силу требований по технике безопасности, сконструирована с дистанционным управлением нагружающего устройства и с автоматической записью диаграммы «нагрузка – деформация». Запись диаграммы производилась самопишущим потенциометром с измененной схемой в связи с необходимостью записи усилий. Усилие измерялось тензометрическим динамометром, соединенным с неподвижной тягой разрывной машины.

Разрывная машина дает возможность исследовать образцы с плоским и круглым сечением, площадью поперечного сечения 1-3 мм<sup>2</sup> и пределом прочности до 1000 н/мм<sup>2</sup>.

Результаты экспериментальных данных приведены в таблице.

Важным показателем, оценивающим порядок количества ионизированных атомов, является величина ионизационного тока. Использование ионизационных камер для исследования  $\beta$ -излучения затрудняется тем, что создаваемый в камере ток зависит от энергетического распределения  $\beta$ -частиц. Кроме того, трудно оценить средний путь частиц в пределах камеры вследствие испытываемого ими рассеяния в газе, наполняющем камеру, и на ее стенках [10]. Проведенный нами теоретический расчет, который приводится ниже, показывает, что величины ионизационного тока, полученные экспериментально и теоретически, сравнимы и, по нашему мнению, подтверждают правильность выбранной схемы и методики эксперимента.



Будем считать, что все первичные электроны обладают энергией, равной 0,765 Мэв, хотя часть электронов вылетает из внутренних слоев изотопа и тормозится самим материалом источника. Однако, это торможение будет незначительным благодаря незначительной толщине источника (0,5 мм) и относительно большой величине слоя половинного ослабления (4,2 мм) для  $Tl = 204$ , что не приведет к большим погрешностям в расчете. Считаем также, что все электроны движутся по прямой линии и, достигнув внутренней поверхности камеры, полностью поглощаются. При определении тока ионизации не будем учитывать взаимодействие электронов и положительных ионов газа, полученных в результате ионизации, с поверхностью камеры и образца, так как на величину тока их влияние, по сравнению с другими факторами, незначительно.

Определить ионизационные потери первичных электронов можно по формуле Бете [9]:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} = \frac{2\pi n y^4}{m\beta^2 c^2} \left[ \ln \frac{m\beta^2 c^2 E}{2(1-\beta^2)I^2(z)} + 1 - \beta^2 - 2(\sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2) \ln 2 + \frac{1}{8}(1 - \sqrt{(1-\beta^2)})^2 \right], \quad (1)$$

где  $-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}}$  – среднее значение ионизационных потерь на сантиметр,  $n$  – число электронов на  $1 \text{ см}^3$  среды;  $I(z) = 13.5z$ ,  $z$  – средний ионизационный потенциал атомов среды в электрон-вольтах.

Согласно проведенным исследованиям [9] для электронов с энергией 0,765 Мэв

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \text{ воздуха равно } 1,3 \frac{\text{Мэв} \cdot \text{см}^2}{z}, \quad -\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \text{ Н}_2 \text{ равно } 4,2 \frac{\text{Мэв} \cdot \text{см}^2}{z}.$$

Умножив эти значения соответственно на плотность водорода, получим:  $-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}}$

$$\text{Н}_2 = 350 \text{ эв/см.}$$

Разделив  $-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}}$  на работу ионизации  $\mathcal{E}$  водорода, получим количество пар ионов  $N$ ,

которое создает электрон при прохождении пути 1 см в газе. Согласно [9,11], работа ионизации электронов данной энергии для водорода равна 38,5 эв.

Часть энергии, расходуемая электроном на возбуждение молекул, а также дополнительная ионизация молекул за счет вторичных электронов учитывается изменением  $\mathcal{E}$  согласно изменению энергии первичных электронов [9]. Зная объем ионизационной камеры ( $V=502.4 \text{ см}^3$ ) и используя число Авагадро, определим количество молекул газа, находящегося в данном объеме ионизационной камеры, которое будет равно  $n = 135 \cdot 10^{20}$ .

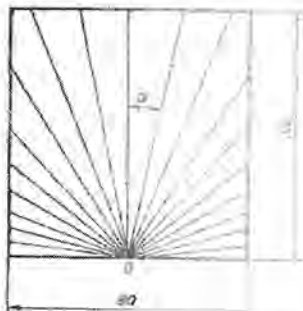


Рис. 3

Определим средний пробег первичного электрона в камере -  $l$ .

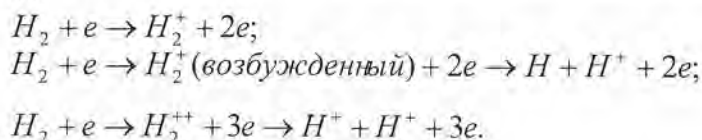
Так как поток электронов радиоактивного изотопа распространяется в телесном угле  $4\pi$ , то учитывая закрепление изотопов в камере, можно считать, что половина электронов непосредственного участия в ионизации газа не принимает, а сразу же поглощается стенкой камеры.

В данном случае движение электронов симметрично по кругу (радиоактивные изотопы расположены в центре оснований цилиндрической камеры), следовательно, для определения среднего значения  $l$  можно рассматривать проекцию камеры на плоскость (рис.3). Разделив полученный прямоугольник лучами, исходящими из точки  $O$ , на 20 частей, определим пробег электрона в каждой части прямоугольника и, усредняя полученные результаты на весь прямоугольник, получим: средний пробег электрона в ионизационной камере равен 6,7 см. Таким образом, ионизационный ток, получаемый в результате облучения молекул газа электронами, равен

$$I = \frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \cdot l \cdot C \cdot p \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{\varepsilon} a, \tag{2}$$

где  $l$  – среднее значение длины пробега электрона в камере, см;  $C$  – активность источника, распад/сек;  $p$  – кратность заряда ионов;  $1.6 \cdot 10^{-19}$  – множитель, определяющий заряд электрона в кулонах;  $\varepsilon$  – работа ионизации газа, эв.

Определим кратность зарядов ионов. Согласно [11], при ионизации водорода происходят главным образом следующие реакции:



При взаимодействии электрона с молекулой  $H_2$  явно преобладает первая реакция [12], поэтому ионы водорода, образовавшиеся в результате взаимодействия с электронами, заряжены однократно.

На основании изложенного выше составим уравнение, позволяющее определить ток ионизации. Для нашего случая уравнение будет иметь вид

$$I = \frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \cdot l \cdot C \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{2\varepsilon} a. \tag{3}$$

В таблице приведены значения тока ионизации водорода при облучении  $\beta$  – источником различной активности. Как видно из представленных данных, концентрация ионов возрастает прямо пропорционально увеличению активности источника. Опыты с использованием разработанной методики и аппаратурой для выявления влияния ионизированной газовой среды на механические характеристики

Ионизируемая среда	Значение тока ионизации, $10^{-7}$ а, при активности источника, мкюри			
	150	300	450	600
Водород, $H_2$	0,32	0,65	1,01	1,3

углеродистой стали 08 кг проводились на плоских образцах с сечением рабочей части 3 x 1мм. Обжиг образцов проводился при температуре 875°С в течении 1,5 часа в вакууме  $2 \cdot 10^{-4}$  мм.рт.ст.

Источник  $\beta$ -излучения с активностью 600 мкюри и

энергией 0,765 Мэв устанавливался в герметичную камеру разрывной машины. При поглощении излучения происходила ионизация водорода, предварительно заполнившего герметичную камеру. Одновременно с процессом ионизации непрерывно происходит рекомбинация ионов – процесс восстановления ионов противоположного знака в нейтральный атом или молекулу. С помощью внешнего источника постоянного тока создавалась разность потенциалов между стенкой камеры и центральным электродом (испытуемый образец). Движение ионов становится направленным: положительные ионы стремятся к катоду (образец), а отрицательные к аноду (стенка камеры). Возникший ток ионизации регистрировался измерительным прибором. Подаваемое на электроды напряжение, равное 1200в, соответствовало току насыщения, т.е. при таком напряжении практически все ионы собираются на электродах.

На рис.4 приведена диаграмма «усилие-удлинение», которая свидетельствует о том, что механические свойства стали изменяются при испытании в ионизированном водороде – снижается предел текучести и относительное удлинение, уменьшается длина площадки текучести и время до разрушения образца при постоянной скорости деформации. Таким образом, предпочитаемая методика позволяет осуществить и контролировать процесс ионизации молекулярного водорода и осуществить оценку механических свойств металлов в этих условиях при отрицательном или положительном потенциале испытуемого образца.

**Выводы.** Следует полагать, что основным фактором, определяющим изменение механических свойств стали, является воздействием ионов водорода с последующей их хемосорбцией на ювенильных поверхностях металла. Таким образом, ионы отдают свою энергию поверхностным слоям металла в вершине развивающихся дефектов, ослабляя межатомные связи и этот эффект зависит от плотности ионизации.

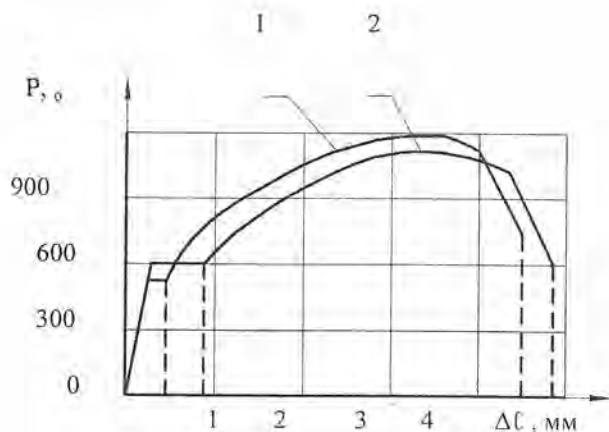


Рис. 4

Диаграмма «усилие-удлинение». 1- в  $H^+$ ; 2- в  $H_2$

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика / П.А. Ребиндер. – М.:Знание, 1958. – 177с.
2. Карпенко Г.В. Прочность стали в коррозионной среде / Г.В. Карпенко.-М.,1963.– 287с.
3. Карпенко Г.В. Явление облегчения деформирования и разрушения металл в присутствии водорода / Г.В. Карпенко, А.К. Литвин, А.И. Сошко // журн.физ.-хим. мех. Матер – 1973. –N 4. – С. 87.
4. Сошко А.И. Физико-химическая механика обработки твердых тел в полимерсодержащих СОТС / А.И. Сошко // сб. научн. Труд. – Киев.:Наук.дум.,–1980.– С. 332.
5. Справочник. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: под ред. С.Г. Энтелеса.– М.: Машиностроение, 1986.– 352 с.
6. Сошко А.И. Смазочно-охлаждающие технологические средства в механической обработке металлов /А.И. Сошко, В.А. Сошко. – Херсон.: Олди плюс, 2008.– 4.2. – 388 с.
7. Финкель В.М. Физика разрушения / В.М. Финкель.– М.: Металлургия, 1970. – 376 с.
8. Ткачев В.И., Литвин А.К., Сошко А.И. К вопросу о влиянии водорода на деформацию и разрушение стали // журн. Проблемы прочности – 1972.– N12 / – С.77
9. Аглинцев К.К. Дозиметрия ионизирующих излучений / – М.: Гостехиздат, 1957. – 179 с.
10. Векслер В.И., Грошев А.А. Ионизационные методы исследования излучений / – М.: Знание.– 1950.– 217 с.
11. Бондаренко И.П., Бударова Н.В. Основы дозиметрии и защита от излучений / – М.: Высшая школа, – 1962. –197 с.
12. Физический энциклопедический словарь / – М.:Наука, – 1962. Т.2. – 279 с.

СОШКО Александр Иванович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– информационные технологии, дистанционное образование.

СОШКО Виктор Александрович – к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– информационные технологии, дистанционное образование.