

Институт прикладной  
физики АН БССР,  
Минск

Поступило в Редакцию  
15 января 1989 г.  
В окончательной редакции  
22 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 17

12 сентября 1989 г.

12

## ОБ ИНИЦИИРОВАНИИ ДД-РЕАКЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТИТАН-ДЕЙТЕРИРОВАННЫЙ ПОЛИМЕР

А.Г. Л и п с о н, В.А. К л ю е в,  
Ю.П. Т о п о р о в, Б.В. Д е р я г и н,  
Д.М. С а к о в

Как было показано нами в работе [1], в процессе совместного вибродиспергирования титана с дейтерированными веществами и некоторое время после него наблюдается нейтронное излучение малой интенсивности, превосходящее естественный нейтронный фон в 5-6 раз. В данной работе была изучена возможность протекания ДД-реакций в процессах внешнего трения титана в присутствии дейтерированных материалов.

В качестве объектов исследования использовался технический титан, а также дейтерированный полиэтилен ПЭ(Д<sub>4</sub>) со степенью дейтерирования 98% и тяжелая вода D<sub>2</sub>O (99.5%). Узел трения, смонтированный на базе фрезерного станка, состоит из титанового стакана диаметром 5 см, на дно которого равномерным слоем наносилось 10 мг ПЭ(Д<sub>4</sub>) и 100 мг D<sub>2</sub>O. Движущаяся часть узла трения представляла собой титановый цилиндр, приводимый (при постоянной нагрузке 5 кг) во вращение двигателем станка. Конструкция установки предусматривала возможность охлаждения узла трения жидким азотом. Узел трения размещался на расстоянии 10 см от блока нейтронных счетчиков (7 штук NWJ-62). Методика регистрации нейтронов описана в работах [1-3]. Через определенные промежутки времени снимался естественный нейтронный фон. Для контроля экспериментальных данных снимался также фон при трении титана в отсутствие дейтерированных веществ, который не превосходил космического нейтронного фона.

Эксперименты показали, что в процессе трения в системе Ti-Ti-ПЭ(Д<sub>4</sub>)-D<sub>2</sub>O существенное превышение над естественным нейтронным фоном наблюдается лишь при скоростях вращения движущейся части узла трения в интервале 500-1500 об/мин (рис. 1). При

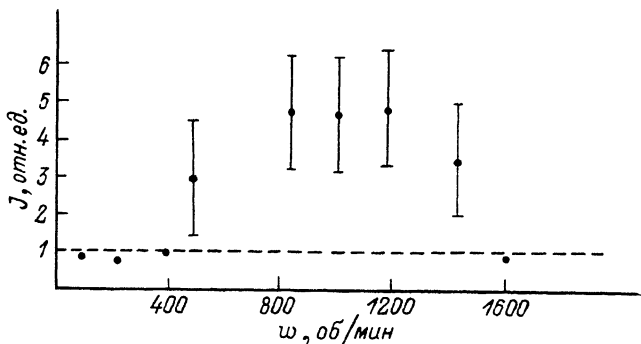


Рис. 1. Зависимость интенсивности скорости счета нейтронов при трении от скорости вращения движущейся части узла трения (пунктир — уровень естественного нейтронного фона).

этом счет нейтронов при скоростях 800–1200 об/мин достигает максимума и составляет с учетом геометрической эффективности детектора  $0,24 \pm 0,11$  отсчетов/с (значение усредненное за 100 мин трения; естественный нейтронный фон равен 0,05 отсчетов/с). Данные значения скорости счета нейтронов наблюдались лишь в том случае, если узел трения предварительно охлаждался жидким азотом. Если предварительного охлаждения не было, то существенного превышения над фоном не наблюдалось. Процесс трения осуществлялся в течение 4–5 минут. Максимальный выход нейтронов регистрировался лишь в первые 2–3 минуты, 4-я и 5-я минуты не давали превышения над фоновым уровнем, вероятно, в связи с разогревом узла трения.

Следует отметить, что эффект в системе  $Ti - Ti - D_2O$  не превосходил фонового счета. В системе  $Ti - Ti - ПЭ(D_4)$  в первую минуту трения наблюдалось значительное превышение счета нейтронов над фоном. Однако в этом случае процесс трения сразу же сопровождается сильным выделением  $D_2$  и его возгоранием. При добавлении в систему  $D_2O$  и ее замораживании горение прекращалось.

По окончании процесса трения наблюдался значительный постэффект — повышенный счет нейтронов в течение 12–15 минут (рис. 2). При этом максимальная интенсивность послеземиссии нейтронов достигается через 3–5 минут после прекращения трения. Если после спада постэффекта производится охлаждение узла трения жидким азотом, то вновь наблюдается увеличение скорости счета нейтронов, превышающее даже значения, наблюдаемые в процессе трения ( $0,31 \pm 0,14$  отсчетов/с) (рис. 2, пунктиром). Данный эффект затухает до фонового уровня за 5–6 минут, в течение которых продолжается замораживание образца.

Во всех экспериментах по трению эффект наблюдался, по-видимому, лишь в тех случаях, когда происходило образование дейтрида титана, сопровождающее водородный износ титана при трении [4]. С целью проверки этого предположения нами осуществлялось трение ролика, электролитически покрытого слоем дейтерида титана толщиной 20 мкм по дну титанового станка в отсутствии  $ПЭ(D_4)$  и  $D_2O$ . На-

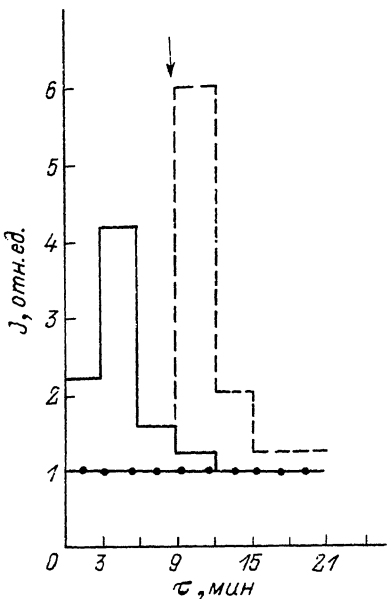


Рис. 2. Гистограммы зависимости скорости счета нейтронов от времени, прошедшего после остановки трения (стрелкой указано начало охлаждения). Уровень естественного фона обозначен пунктиром.

блюдаемый эффект составит 0.30 отсчетов/с. Через 3 цикла трения по 1 минуте интенсивность счета нейтронов упала до фонового уровня, при этом слой  $TiD_2$  полностью стерся с поверхности трения ролика. Эти данные подтверждают необходимость наличия дейтерида титана в зоне механического воздействия для наблюдения эффекта.

Таким образом, в процессе внешнего трения титана по титану в присутствии дейтерированного полимера ПЭ( $D_4$ ) и  $D_2O$  и некоторое время после него наблюдается слабое нейтронное излучение (10–20 нейтр/с), связанное, очевидно, с протеканием ДД-реакций в образующемся при трении дейтериде титана. При этом эффект наблюдается лишь при скоростях трения, лежащих в интервале 500–1500 об/мин. Отсутствие эффекта при скоростях ниже 500 об/мин и выше 1600 об/мин может быть связано с низкой эффективностью образования дейтерида титана при малых скоростях трения и с сильным разогревом узла трения при высоких скоростях, что приводит к резкому уменьшению степени дейтерирования титана [5]. Что касается механизма ДД-реакций в процессе трения титана, то он может быть связан с образованием трещин в поверхностном слое образца и ускорением в них свободных дейтронов под действием возникающих сильных электрических полей, как указывалось нами ранее [2, 3]. Однако такой механизм не объясняет наличия послеемиссии нейтронов по прекращении механического воздействия. Поэтому следует предположить возможность „твердотельных“ ДД-реакций внутри неравновесной фазы  $TiD_x$ . Такие процессы могли бы протекать, например, следующим образом. При трении титана в присутствии дейтерированных веществ происходит сильное разрушение поверхности, сопровождающееся образованием большого числа дислокаций, скоплений и вакансий, служащих одновременно стоками дейтерия [4, 5]. Поскольку дейтерий, образующийся при деструкции ПЭ( $D_4$ ), поглощается решеткой титана не равномерно, а преимущественно по скоплениям дефектов [5], можно предположить внедрение атомов дейтерия в скопления вакансий титана. Этот процесс в условиях пересыщения титана дейтерием будет определять давление дейтерия в микропустотах титана, которое лимитируется пределом прочности кристаллической решетки и может достигать на микроучастках деформационного

упрочения 100 кбар [5]. Превышение давления дейтерия в микропустотах выше „критического“ должно привести к взрывному образованию трещин вокруг данной микрообласти и протеканию в них ускорительных процессов [2, 3]. Возможно также ударное сжатие дейтерия в этих микрообластях при поглощении решеткой подводящей при механическом воздействии энергии, сопровождающееся выходом нейтронов [6]. Кроме того, разупорядочение поверхностного слоя, связанное с искажениями решетки, вследствие механического воздействия и пересыщения неравновесной фазы  $TiD_x$  дейтерием может привести к локализации носителей заряда, обусловленной переходом металл-диэлектрик, наблюдающимся в таких системах [7]. В этом случае экранирующее действие поля захваченных электронов может привести к существенному понижению кулоновского барьера дейтонов в решетке, увеличивая вероятность протекания ДД-реакций. Принимая во внимание высказанные соображения, наличие нейтронного излучения после прекращения трения (рис. 2) можно связать с релаксацией остаточных напряжений, сопровождаемой диффузией в приповерхностный слой новых скоплений, вакансий и примесей из объема металла [8].

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Л и п с о н А.Г., С а к о в Д.М., К л ю е в В.А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. В. 11. С. 588-590.
- [2] К л ю е в В.А., Л и п с о н А.Г., Т о п о р о в Ю.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. № 21. С. 1333-1337.
- [3] Д е р я г и н Б.В., К л ю е в В.А., Л и п с о н А.Г., Т о п о р о в Ю.П. // Колл. ж. 1986. Т. 48. № 1. С. 12-14.
- [4] Г а р к у н о в Д.Н. Трибология, М.: Наука, 1982. 296 с.
- [5] В о д о р о д в м е т а л л а х / Под ред. Г. Алефельда и И. Фелькеля, М.: Мир, 1981. 467 с.
- [6] А н и с и м о в С.И., Б е с п а л о в В.Е., В о в ч е н к о В.И. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 31. В. 1. С. 67-70.
- [7] М о т т Н., Д э в и с Э. Электронные процессы в некристаллических веществах, М.: Мир, 1974. 472 с.
- [8] К у з н е ц о в В.А., С а к о в Д.М., Л и п с о н А.Г. и др. // ДАН СССР. 1986. Т. 289. № 6. С. 1416-1420.

Институт физической химии  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
15 июня 1989 г.