**МИКРОПЛАЗМЕННЫЕ РАЗРЯДЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ПОТОКОМ ПЛАЗМЫ НА ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МЕТАЛЛОВ**

1,2Иванов В.А., 1Сахаров А.С., 1Коныжев М.Е., 1Камолова Т.И., 1Дорофеюк А.А., 3Куксенова Л.И.

1Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия,  
 [ivanov@fpl.gpi.ru](mailto:ivanov@fpl.gpi.ru)  
2Московский инженерно-физический институт, г. Москва, Россия3Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия

Взаимодействие импульсного потока плазмы с металлом, частично покрытым диэлектрической пленкой толщиной ~1 мкм и находящимся под отрицательным потенциалом ~100 − 450 В, приводит к возбуждению микроплазменных разрядов (МПР) на краю пленки [1, 2]. По действием потока плазмы внешняя поверхность плёнки приобретает положительный потенциал относительно металла, вследствие чего на краю плёнки возникает электрическое поле с напряжённостью несколько МВ/см. Это поле инициирует поверхностные пробои и взрывную эмиссию из металла на краю пленки, что приводит к возникновению МПР (микродуг) с плотностью плазмы ~1020 см−3 и температурой ~0,5 − 1 эВ [3]. Высокое локальное давление (~107 Па) плазмы и металлического пара, нагретого до ~5000 К, приводит к образованию микрократеров на поверхности металла.   
В результате испарения пленки под воздействием МПР, после нескольких импульсов плазмы поверхность металла полностью очищается от пленки, и на поверхности металла формируется прочный сплошной переплавленный слой, имеющий развитую структуру микрорельефа.

В эксперименах МПР на прямоугольных (4 × 4 × 12 мм3) металлических образцах (титан ВТ1, Al сплав В95, сталь 45) возбуждались потоком плазмы с *ne* ~ 1012 − 1013 см−3, *Te* ≈ 10 эВ и длительностью ~20 мкс. Диэлектрическая (оксидная) плёнка на образцах формировалась в результате их нагрева в воздухе [1, 2]. Под действием потока плазмы, на границе плёнки возбуждались МПР, которые продолжали гореть в течение ~20 мс (пока к образцу было приложено отрицательное напряжение). После ~10 импульсов плазмы образец полностью очищался от плёнки, и его поверхность приобрела прочный микрорельеф. При токе разрядов 100 − 600 А, высота микрорельефа на всех гранях образца была в диапазоне 2 − 18 мкм. Обработанные и необработанные образцы были подвергнуты стандартным трибологическим испытаниям [5]. Испытания образцов из стали 45 показали увеличение допустимого давления на образцы при трении от 3 МПа (для образцов без обработки МПР) до 25 МПа (для образцов, обработанных МПР при токе 400 А). Интенсивность относительного износа не превышает 5 × 10–9 на вершинах микровыступов, и 0,7 × 10–9 на их основаниях, что близко соответствующим значениям для образцов из стали 45, подвергшихся стандартной термической закалке. При этом, предельное давление на образцы из стали 45, упрочнённых с помощью МПР, возрастает в два раза по сравнению со стандартной термической закалкой. Таким образом, микроплазменное упрочнение поверхности металлов в потоке плазмы открывает широкие перспективы для создания износостойких образцов, которые могут найти применение в промышленности, а также в ортопедии и стоматологии.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований учреждений государственных академий наук РФ на 2014–2016 гг. (гос. задание № 01200953486).

Литература

1. Иванов В.А., Сахаров А.С., Коныжев М.Е., Физика плазмы. 2008. Т. 34. С. 171.
2. Иванов В.А., Сахаров А.С., Коныжев М.Е., Успехи прикл. физики. 2013. Т. 1. С. 697.
3. Ivanov V.A., Jüttner B., Pursch H., IEEE Trans. Plasma Sci. 1985. V. 13. P. 334.
4. Сахаров А.С., Иванов В.А., Успехи прикл. физики 2016. Т. 4. С. 150.
5. Иванов В.А., Коныжев М.Е., Куксенова Л.И., Лаптева В.Г., Хренникова И.А., Проблемы машиностроения и надежности машин. 2015. Т. 44. Вып. 4. С. 96.