

РАЗЛЕТ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В СЕРОВОДОРОДЕ И ФОРМИРОВАНИЕ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ a-C(S, H) С КАЧЕСТВЕННЫМИ
АНТИФРИКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

EXPANSION OF LASER PLASMA IN HYDROGEN SULFIDE AND FORMATION OF
THIN-FILM a-C (S, H) COATINGS WITH HIGH-QUALITY ANTIFRICTION PROPERTIES

М.Д. Грицкевич, Д.В. Фоминский, Р.И. Романов, В.Ю. Фоминский
M.D. Gritskevich, D.V. Fominski, R.I. Romanov, V.Yu. Fominski

НИЯУ МИФИ, Каширское ш., 31, Москва, РФ, mgritskevich@yandex.ru

The effect of reactive pulsed laser deposition of carbon on the tribological properties of the surface of steel materials was investigated. The influence of H₂S pressure on the chemical state and composition of a-C(S,H) film was investigated. For the optimal pressure, the obtained coatings have high wear resistance and low coefficient of friction.

Разработка и получение новых тонкопленочных покрытий, обеспечивающих стабильное снижение коэффициента трения в различных условиях эксплуатации высокоточных механизмов является важной и актуальной проблемой. Требуется гибкие технологические процессы, использование которых позволяет регулировать состав, морфологию и структуру инновационных антифрикционных покрытий. При импульсном лазерном осаждении многоэлементных покрытий может возникнуть проблема конгруэнтного переноса химического состава мишеней, изготавливаемых высокотемпературным химическим синтезом, на достаточно большую площадь подложки. Исследования по импульсному лазерному осаждению тонкопленочных покрытий MoS_x, MoSe_x, WSe_x, WS_x из синтезированных мишеней дихалькенидов металлов показали, что, как правило, выброс массы материала из пятна фокусировки лазерного излучения происходит в относительно узкий телесный угол, при этом угловая диаграмма разлета атомов халькогена может быть шире, чем у металла [1]. Поэтому важно совершенствовать перспективный метод импульсного лазерного осаждения для получения покрытий с заданными свойствами. Целью работы явилось изучение процесса разлёта лазерной плазмы из графитовой мишени в сероводороде и формирование тонкопленочных покрытий a-C(S,H), внедрение серы и водорода в которые обеспечивают высокие антифрикционные характеристики.

Для получения покрытий a-C(S,H) методом реакционного импульсного лазерного осаждения (РИЛО) проводилась импульсная лазерная абляция мишени из графита – использовалось лазерное излучение, Nd:YAG с длиной волны 1064 нм. Для получения тонкопленочных покрытий использовалась стандартная конфигурация РИЛО. На рисунке 1 показано характерные электронно-микроскопические изображения сформированного покрытия, которые демонстрирует гладкую поверхность и высокую плотность.

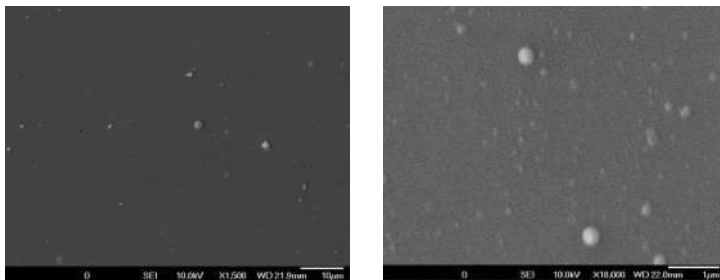


Рисунок 1 – Типичные микро-изображения (при двух увеличениях) поверхности пленки а-С(S,H), полученной на стальной подложке методом РИЛО в H₂S.

В качестве подложек для осаждения тонкопленочных покрытий использовались полированные диски из нержавеющей стали марки 95X18 и полированные пластины кремния. Камеру осаждения вакуумировали до давления 10^{-2} Па, а затем в камеру осаждения вводился сероводород. Осаждение пленок проводилось при трех различных давлениях H₂S газа. Было установлено, что при абляции мишени С в сероводороде осаждаемый слой а-С (S, H) эффективно захватывает атомы S и H. Внедрение этих атомов оказывает важное влияние на химическое состояние и трибологические свойства покрытий.

Состав покрытий исследован методом упругого рассеяния ионов. H₂S оказывал существенное влияние на скорость осаждения углерода. При давлении 18 Па, скорость осаждения углерода упала практически в 5 раз, по сравнению со скоростью осаждения в вакуумных условиях. При столкновении с H₂S молекулами, атомы углерода испытывают рассеяние на большие углы и выходят из той области, где протекало осаждение на подложку. Также нельзя исключать возможность реакционных столкновений ионов углерода с H₂S молекулами. Результатом этих столкновений могло быть образование молекул летучих углеводородов. Возможно, именно этим явлением обусловлен и такой важный факт, что с ростом давления сероводорода скорость насыщения плёнок водородом практически не изменялась.

Структурные исследования методом микроРамановской спектроскопии показали, что при увеличении давления H₂S, т.е. при повышении концентрации серы и водорода в пленках а-С(S,H), увеличивался вклад в Рамановские спектры двух пиков при частотах ~ 1220 см⁻¹ и ~ 1440 см⁻¹. При этом интенсивность этих пиков в пленках с самой высокой концентрацией S даже превышала интенсивность D (при ~ 1340 см⁻¹) и G (при ~ 1530 см⁻¹) пиков, характерных для чистых а-С пленок. При этом с ростом концентрации серы

увеличивалось отношение I_D/I_G , что указывало на усиление разупорядоченности (дефектности) упаковки атомов в графитовых кластерах. На рисунке 2 изображены рамановские спектры для а-C(H) и а-C(S,H) покрытий.

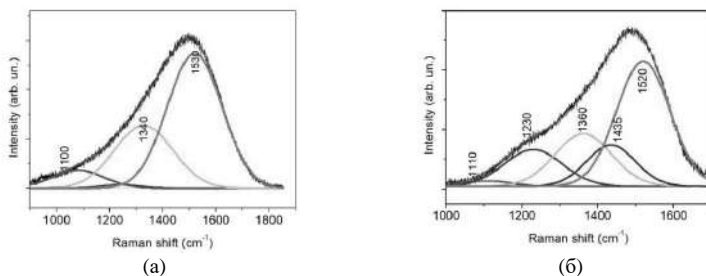


Рисунок 2 – МР спектры для (а) а-C(H) и (б) а-C(S,H) покрытий, полученных методом РИЛО на кремниевых подложках в вакууме (а) и реактивном H_2S газе при давлении 5.5 Па.

Трибоиспытания проведены по методике обратно-поступательного скольжения шарика по диску. Наилучшими антифрикционными свойствами обладало покрытие а-C(S,H), полученное РИЛО из при давлении H_2S 5.5 Па в случае трибоиспытания в сухих условиях трения. Состав покрытия описывался формулой $C_{0.65}S_{0.21}H_{0.14}$. Коэффициент трения не превышал 0,03 в течение 10^3 циклов скольжения шарика, что показано на рисунке 3. При этом поверхность покрытия а-C(S,H) подвергалась слабому износу, а площадка износа на поверхности стального контртела только зарождалась.

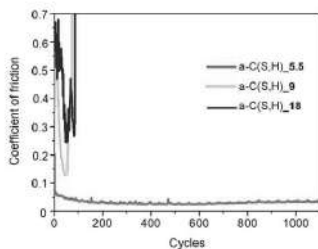


Рисунок 3 – Изменение коэффициента трения в зависимости от количества циклов для тонкопленочных покрытий а-C (S, H), полученных РИЛО при давлениях газа H_2S 5,5, 9 и 18 Па. Трибоиспытания проводились в условиях сухого трения (смесь воздух + Ag, относительная влажность $\sim 8\%$) при 22 °С.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект 19-19-00081).