**II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА**

Бабичев А. П.

Иванов В. В.

Ларин Е. С.

Булгаков Я. С.

Донской
государственный
технический
университет

Цуркан О. В.

Винницкий
национальный
аграрный
университет

УДК 621.9.048.6:621.794

**ИССЛЕДОВАНИЕ
НАНОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ НАНЕСЕНИИ
ТВЕРДОСМАЗОЧНОГО
ПОКРЫТИЯ MoS_2 МЕТОДОМ
ВИБРАЦИОННОЙ
МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ**

В статье представлены материалы по исследованию микро- и нанопрофиля деталей с нанесённым твердосмазочным покрытием - дисульфид молибдена (MoS_2).

Ключевые слова: *вибрационная механохимия; дисульфид молибдена (MoS_2); дисульфид вольфрама (WS_2); нанорельеф поверхности.*

The brief review of vibration mechano-chemical covering and samples of practical application of the solid oil on the basis of disulphureous molybdenum, made up under conditions of vibrotreatment is given in the article.

Key words: *the author describes a model schema of the forming of the disulphureous molybdenum covering.*

Уникальные свойства твердосмазочных покрытий типа дисульфид молибдена (MoS_2), вольфрама (WS_2), графита и не менее уникальные свойства вибрационной механохимии (ВиМХ), создают предпосылки для повышения износостойкости ответственных деталей, входящих в пары трения различных изделий. Дисульфид молибдена обладает слоистой структурой, в которой есть «прочные» и «плотные» слои, в достаточно большой степени удаленные друг от друга. При этом в слое, покрывающем поверхность трения имеются сильные связи, тогда как связь между слоями слабая. Такие свойства твердосмазочного покрытия обеспечивают «лёгкое» скольжение трущихся поверхностей относительно друг друга, существенное снижение коэффициента трения

и изнашивания пары трения. Высокая адгезия дисульфида молибдена к металлам обусловлена прочными молекулярными связями, образуемыми атомами серы с металлом. Дисульфид молибдена имеет гексагональную слоистую решетку в форме призматического шестигранника. Такое строение кристаллической решетки обеспечивает наличие важных для смазочных материалов высоких адгезионных свойств.

Произведена экспериментальная проверка технологии нанесения и эксплуатационных характеристик твердосмазочного покрытия (MoS_2) в процессе вибрационной механохимической обработки и сравнительных испытаний на машине трения СМЦ-2, по стандартной методике. Результаты исследований представлены на рис. 1, 2, 3, 4.

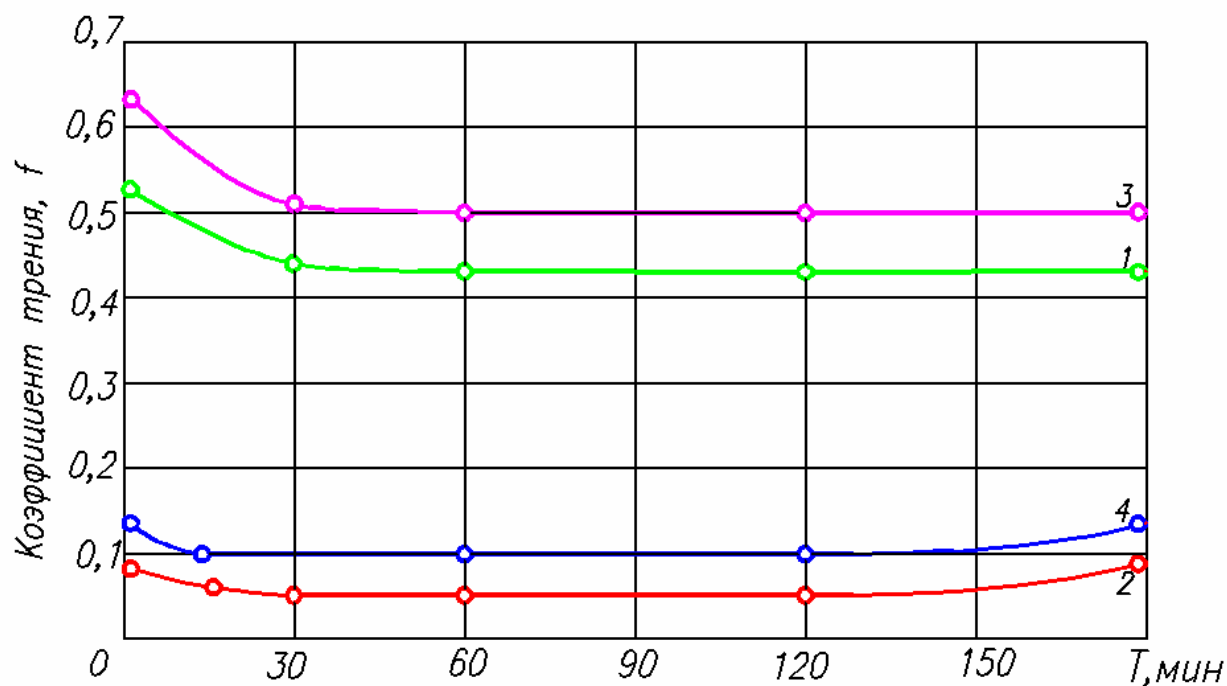
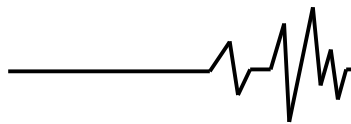


Рис. 1. Исследование коэффициента трения пар:
1-ШХ15-40Х-исходные; 2-ШХ15-покрытие MoS₂-40Х-исходные;
3- 40Х-чугун СЧ21-40-исходные; 4- 40Х-покрытие MoS₂-чугун СЧ21-40-исходные

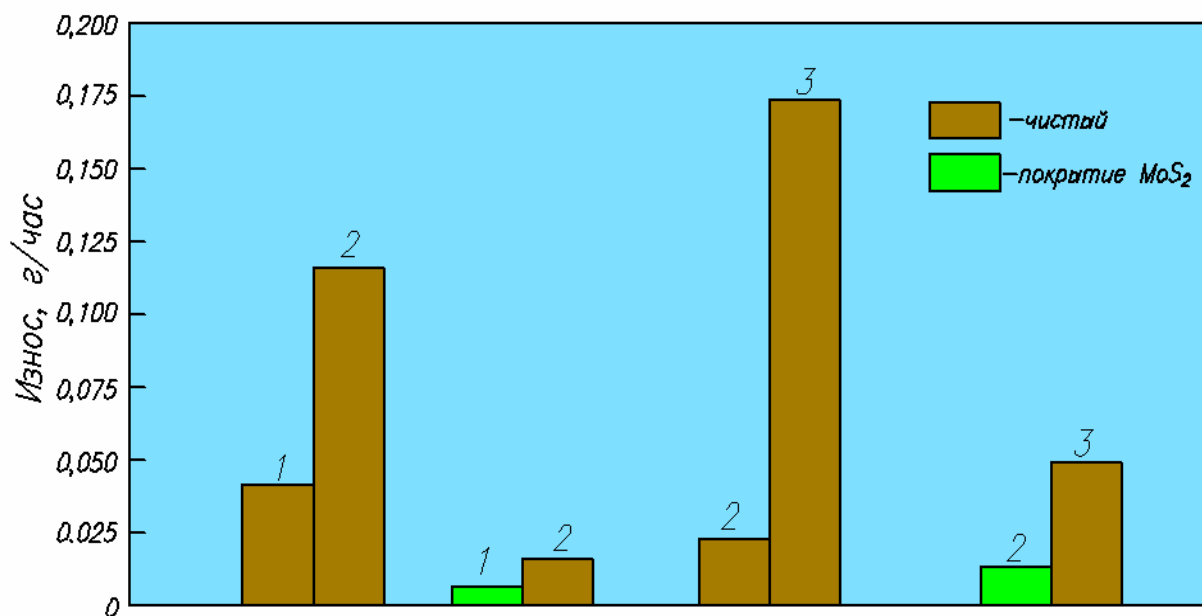


Рис. 2. Исследование износостойкости пар трения образцов:
1 - сталь ШХ15; 2 - сталь 40Х; 3 - чугун СЧ21-40

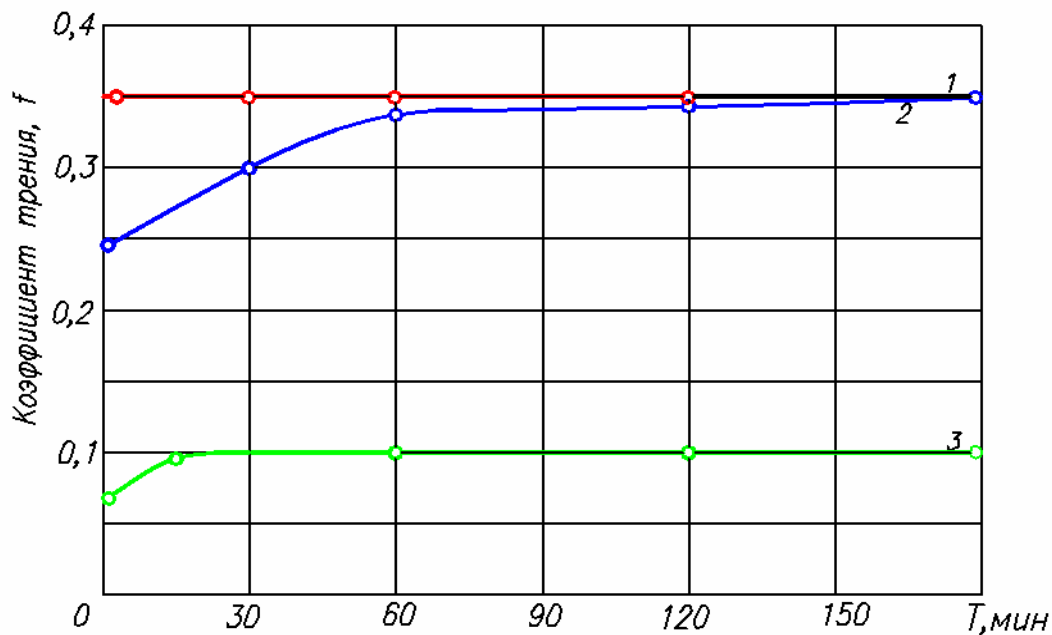
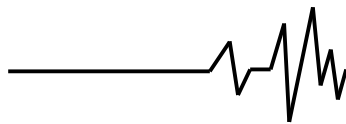


Рис. 3. Результаты испытаний образцов из титановых сплавов VT-20 при трении качения с 20%-ым проскальзыванием, нагрузке 40кГ ($q=900\text{кГс/см}$) - при комнатной температуре, без смазки: 1 - исходные; 2 - виброупрочненные; 3 - покрытые MoS_2

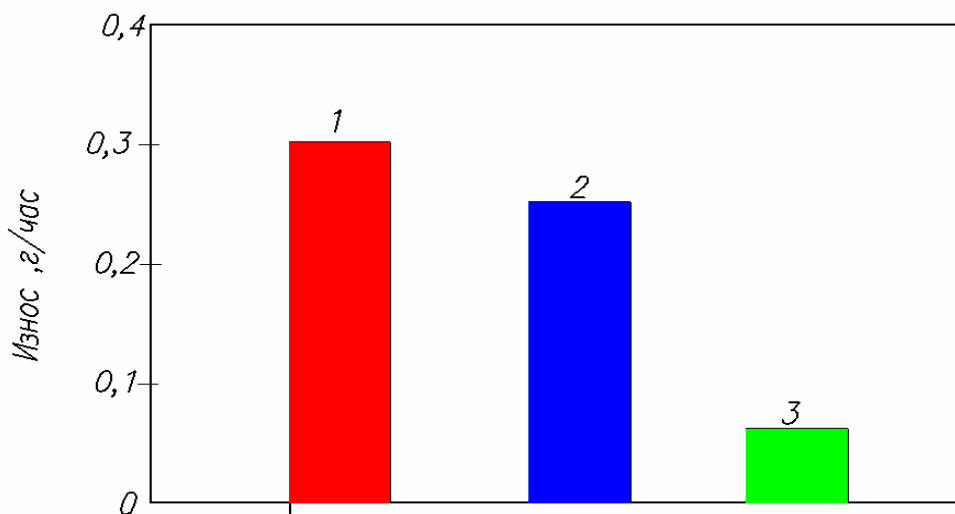
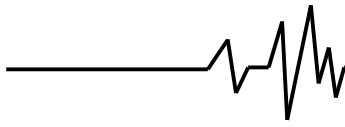


Рис. 4. Износостойкость пар трения образцов из сплава VT-20 и сталь 1X12H2BMФ; 1- исходные; 2- виброупрочненные; 3-покрытые MoS_2

Представленные результаты показывают, что процесс вибрационного механо-химического покрытия MoS_2 приводит к снижению коэффициента трения и повышению износостойкости пар трения при работе не только в воздушной среде, но и в среде масла. Износ при работе в течении 3-х практически не отмечен. Наличие слоев различных атомов в структуре дисульфида молибдена создает условия легкого скольжения их плоскости

спайности. Известно, что пленка MoS_2 толщиной 1 мкм состоит из 1600 слоев с плоскостями скольжения между ними.

Большое влияние на антифрикционные свойства покрытия оказывает наноразмерность и ориентация его частиц, а также нанорельеф поверхности основы. В процессе нанесения покрытия дисульфида молибдена вибрационным способом обеспечивается ориентация частиц базовыми плоскостями



параллельно плоскости скольжения и процесс приработки покрытия в этом случае практически отсутствует.

В зависимости от условий эксплуатации и материала пар трения снижения коэффициента трения достигает от 3-х до 9-х раза, а увеличение их износостойкости от 4-х до 20-и раз.

С целью изучения механизма образования твердосмазочного покрытия MoS_2 в процессе ВИМХО исследован нанорельеф

покрываемой поверхности и порошка MoS_2 . Исследования проведены с использованием электронного микроскопа SUPRA25, позволяющего изучать поверхность металла, материал покрытия, вести непрерывный контроль процесса, электронно-лучевую литографию, вести анализ отказов и наблюдение материалов с ультра малыми размерами (нм) размерами зерен, анализ включений в сплавах и сталях, анализ изломов или разработку новых материалов.



Рис. 5. Аналитический автоэмиссионный электронный микроскоп Zeiss SUPRA25

Ниже представлена серия снимков рис.6, характеризующих наноразмерную картину нанорельефа исходной поверхности покрываемого образца из стали 3 и порошка MoS_2 в исходном состоянии; затем получены снимки поверхности образца с покрытием MoS_2 . Снимки произведены с различным увеличением и с различных позиций (изменением наклона предметного стола).

Полученные снимки дают представление о характере нанорельефа покрываемой поверхности и покрытия, осуществляющих важную роль в их соединении.

В представленной работе показано образование «нанослоевой дисперсии» MoS_2 при механическом (виброударном) воздействии в среде стальных шаров диаметром 3...5 мм на бинарную смесь и порошка дисульфида молибдена.



Рис. 6. (а) Исходный образец Сталь3

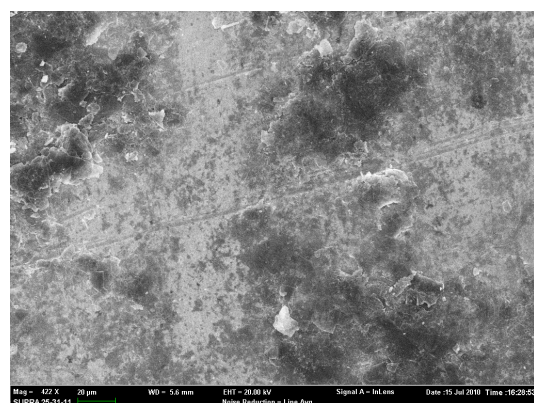


Рис. 6. (б) Порошок MoS_2

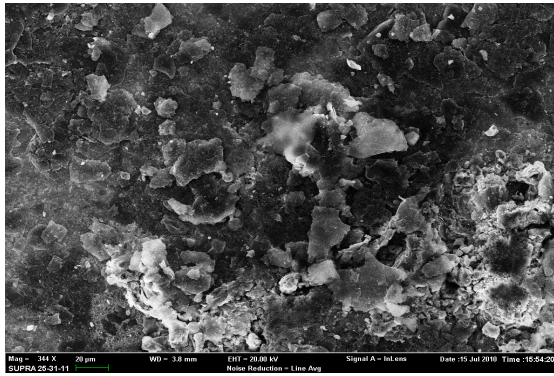
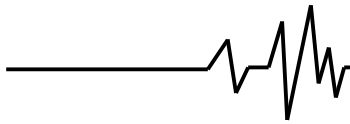


Рис. 6. (а)

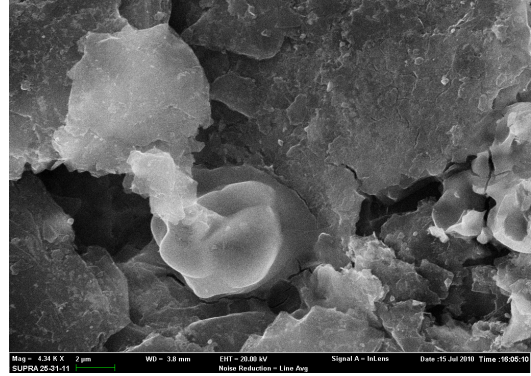


Рис. 6. (б)

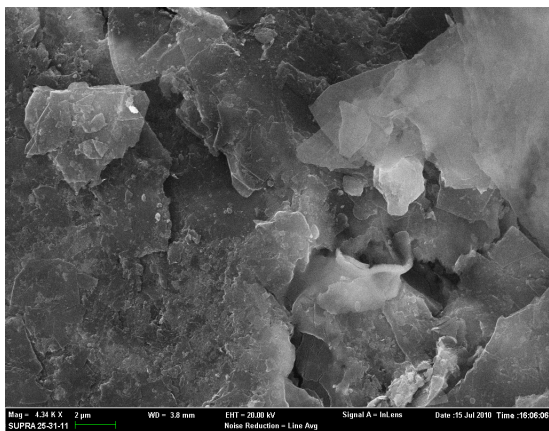


Рис. 6. (в)

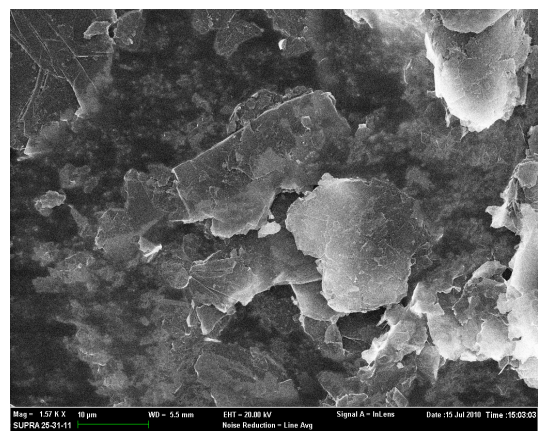


Рис. 6. (г)

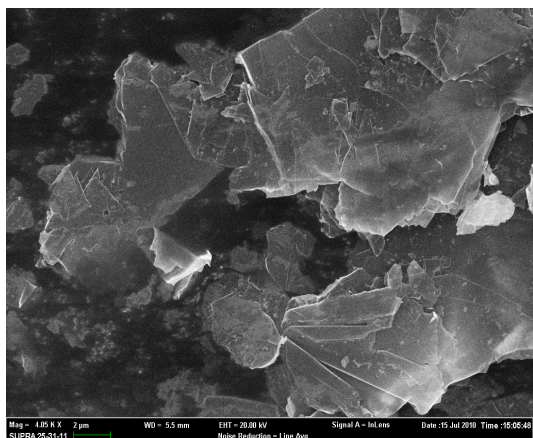


Рис. 6. (д)

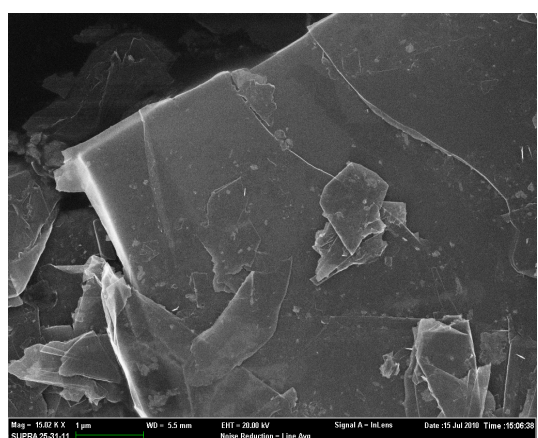


Рис. 6. (е)

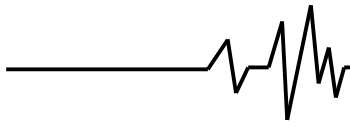


Рис. 6. (u)

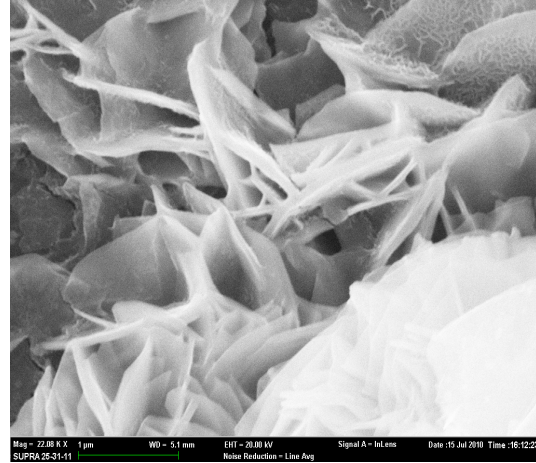


Рис. 6. (к)

Для исследований микрорельефа поверхности был использован сканирующий зондовый микроскоп Nanoeducator (NT-MDT), результаты представлены на рис. 7, 7а, 8, 8а.

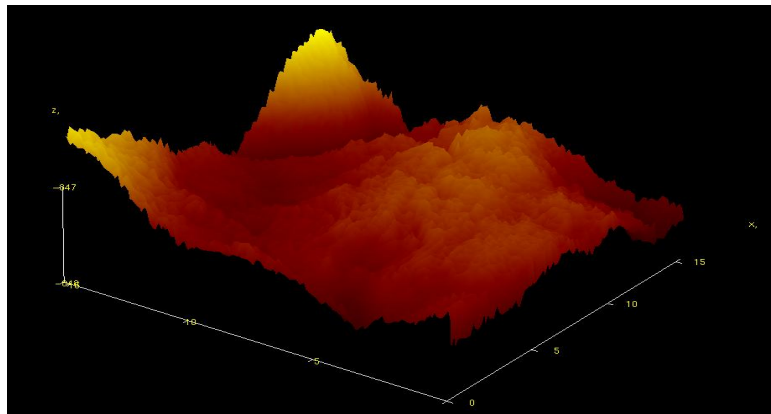


Рис. 7. 3-D модель исходной поверхности

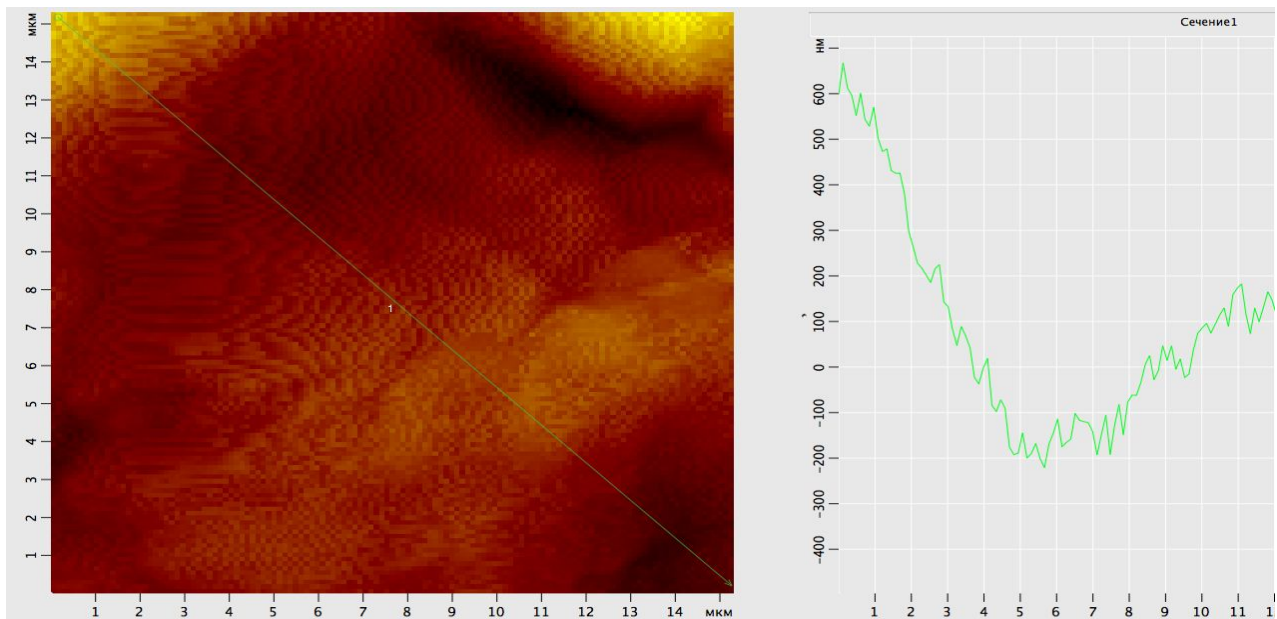
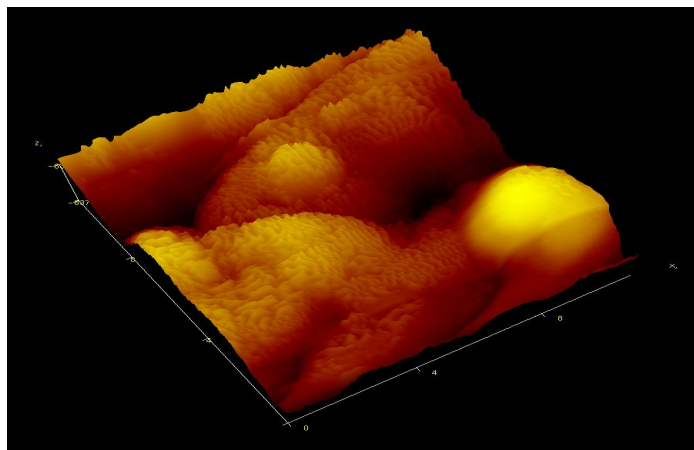
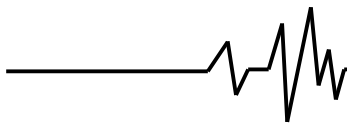
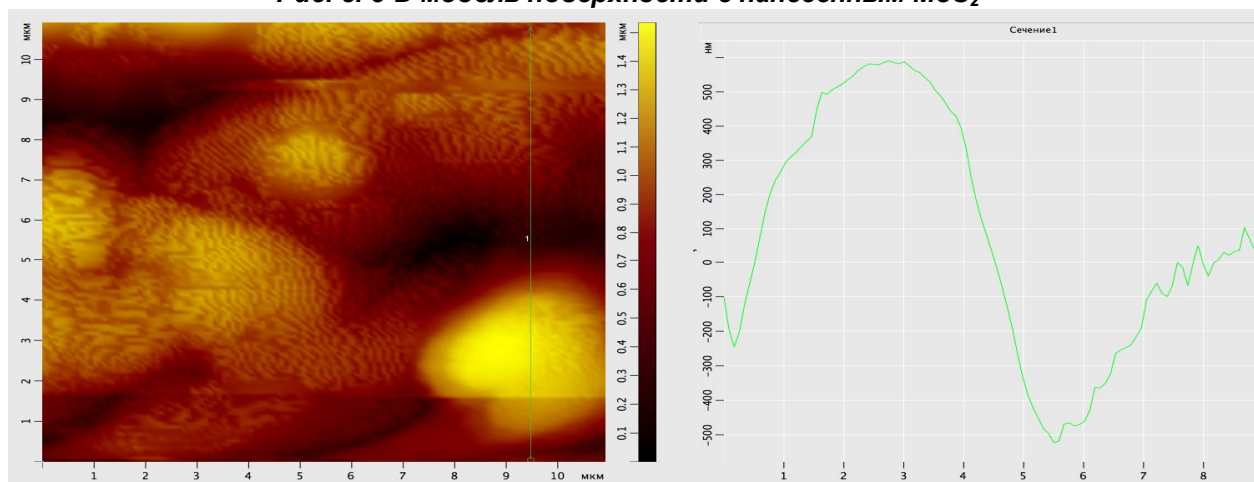


Рис. 7а. Микрорельеф исходной поверхности

Рис. 8. 3-D модель поверхності с нанесеним MoS_2 Рис. 8а. Микрорельєф поверхності с нанесеним MoS_2

Как видно из представленных рисунков поверхность с покрытием дисульфида молибдена (MoS_2) по сравнению с необработанной становится более полой, микровыступы скруглены.

Учитывая, что Carbon NanoTube (CNT) обладают исключительной прочностью (на порядок выше стали), такое воздействие не приводит к их разрушению, но порождает разрыв вандерваальсовых связей в MoS_2 с образованием монослоев. Такие слои за счет сильного ковалентного взаимодействия между молекулами MoS_2 будут либо сворачиваться в нанотрубку, либо за счет вандерваальсовских сил «прилипать» к CNT. Получаемое в этом случае покрытие будет обладать уникальными механическими и физическими свойствами.

MWNT (Many-Wall NT) вызвало бурный рост исследований, направленных на получение, установление физико-химических характеристик и определение путей их практического применения. Первые неуглеродные нанотрубки на основе WS_2 были получены в 1992 году. В настоящее время синтезированы нанотрубки на основе оксидов и сульфидов d - элементов (WS_2 , MoS_2 , TiO_2 ,

VO_x , CuO , Al_2O_3 , SiO_2 и т.д.). В последние годы большой интерес вызывает исследование физических свойств бинарной смеси NT и MoS_2 . Неуглеродные нанотрубки получают с использованием темплатного метода, осаждением из газовой фазы, а также в результате гидротермальной обработки.

Полученные результаты открывают пути дальнейших изысканий возможности внедрения в покрытия микро и наноматериалов и углеродных нанотрубок при ВиМХО.

Литература

1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. Изд.2е, перераб. и доп. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008г. – 694с.
2. Пугина Л.И., Синявская М.Д., Максимчук И.М. Дисульфид молибдена. Киев, Изд-во «Наукова думка», 1968г.
3. Рысева Т.Н. «Повышение износостойкости пар трения путем совмещения процессов вибрационного упрочнения и нанесения твердосмазочного покрытия дисульфида молибдена» Кандидатская диссертация Ростов РИСХМ 1975г.