

$$m_1 q = \frac{m_2 v^2}{2} + \frac{m_2}{m_3} \times \frac{m_2 v^2}{2} + E_4(l).$$

Откуда начальная кинетическая энергия пули:

$$\frac{m_2 v^2}{2} = (m_1 q - E_4(l)) / (1 + \frac{m_2}{m_3}).$$

С помощью этой формулы легко доказать следующие утверждения:

- начальная скорость пули зависит от длины ствола, массы пули, массы порохового заряда и от других факторов;
- чем длиннее ствол (до известных пределов), тем дольше действует на пулю пороховой газ и тем больше её начальная скорость;
- при постоянных длине ствола и массе порохового заряда начальная скорость пули тем больше, чем меньше её масса.

Кроме того можно сказать, что скорость пули зависит и от массы стрелкового оружия.

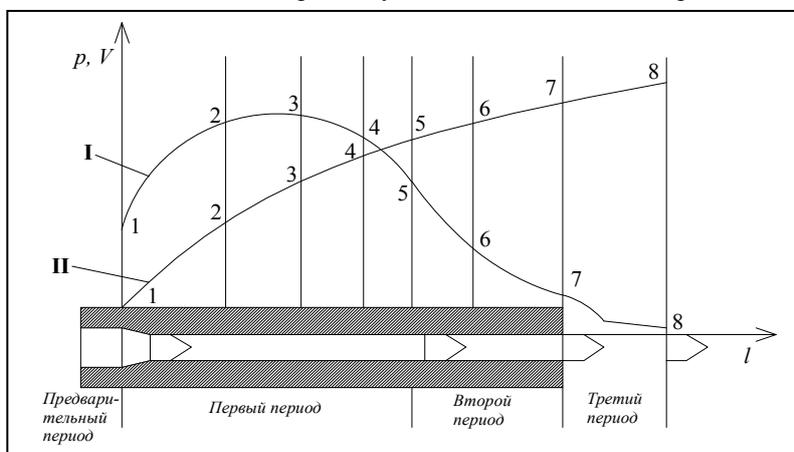


Рис. 1. График зависимости давления газа и скорости пули от пути, проходимого ею в канале ствола

Литература.

1. Суорц К.Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений: Т.1. – М.: Наука, 1986. – 400с.
2. Яворский Б.М. Физика. Справочное руководство для поступающих в вузы / Б.М. Яворский, Ю.А. Селезнёв. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 592с.

### АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

*Ш.С. Нозирзода, студент группы 10А41, Н.С. Давлатзода, студент группы 10А51,  
научный руководитель: Деменкова Л.Г.,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Для снижения трения в подвижных узлах любого оборудования требуется их своевременное смазывание. Выбор вида и способа смазки производится с учетом конструкции и условий эксплуатации пары трения. Механизм действия традиционных жидких и пластичных смазочных материалов состоит в образовании разделительной смазочной пленки между движущимися поверхностями при определенном сочетании нагрузки и скорости, необходимом для установления гидродинамического или полужидкостного режима трения. Однако реальные условия работы механизмов далеки от идеальных. Некоторые из механизмов (например, оборудование кирпичного производства) предназначены для постоянной эксплуатации в пыльной среде под воздействием высоких температур, нагрузок. Узлы большинства машин и оборудования в отдельные моменты времени или в течение всей эксплуатации также работают в режиме, при котором происходят локальные нарушения смазочной пленки, приводящие к повышенному трению, изнашиванию и образованию задиров. В таком режиме

находятся не только тяжело нагруженные тихоходные узлы, но и все механизмы в моменты пуска, останова, реверсирования движения и в процессе приработки. Наиболее очевидным подтверждением этого факта является износ, который сопровождает работу всех машин. В последние годы получил распространение новый вид смазочных материалов – антифрикционные покрытия. Они существенно снижают износ, значительно повышают надежность работы и ресурс узлов и механизмов. Цель данной работы – рассмотреть значение и компонентный состав антифрикционных покрытий.

Антифрикционные покрытия – это смазочные материалы, подобные краскам, но содержащие вместо красящего пигмента высокодисперсные частицы твердых смазочных веществ, равномерно распределенных в смеси связующих веществ и растворителей.

Твердые сухие смазки обладают стабильным низким коэффициентом трения и обеспечивают хороший смазочный эффект.

В зависимости от того, какая несущая способность требуется от покрытия, в качестве сухих смазочных веществ применяют:

- для высоких нагрузок – дисульфид молибдена  $\text{MoS}_2$  и поляризованный графит;
- для средних нагрузок – политетрафторэтилен (тефлон, PTFE, ПТФЭ) и/или другие полимеры [1].

Связующие элементы обеспечивают адгезию к субстрату, химическую стойкость и защиту от коррозии. В качестве связующих используют эпоксидные смолы, титанаты, полиуретаны, акриловые, фенольные, полиамид-имидные и специальные компоненты. При использовании органических связующих элементов термостойкость антифрикционных покрытий достигает  $+250\text{ }^\circ\text{C}$ , а неорганические системы позволяют покрытиям работать при экстремально высоких температурах вплоть до  $+600\text{ }^\circ\text{C}$  [2].

Растворители предназначены для переноса и распределения твердых смазок и связующих на субстрате, а также для обеспечения нужной вязкости антифрикционного покрытия путем разбавления перед нанесением.

Для улучшения необходимых свойств, а также для модификации и придания антифрикционным покрытиям новых свойств в них добавляют присадки.

Антифрикционные покрытия наносятся на поверхность с помощью обычных технологий окрашивания, таких как распыление, трафаретная печать, окунание, нанесение кистью. После нанесения покрытия и сушки растворитель испаряется, а связующие вещества полимеризуются и обеспечивают надежное сцепление с основой. Выбор конкретного способа нанесения антифрикционных покрытий зависит от геометрии покрываемых деталей и желаемого результата с точки зрения равномерности и долговечности покрытий.

При нанесении покрытия на одну из деталей пары трения в процессе работы происходит частичный перенос твердых смазок на сопряженную поверхность. Таким образом, в процессе трения под нагрузкой формируются плотные и очень гладкие антифрикционные пленки, закрывающие неровности материала основы. В результате при работе пары трения скорость изнашивания покрытия сводится к минимуму.

Применение антифрикционных покрытий на сегодняшний день является самым перспективным способом решения многих проблем, связанных с потерями на трение в движущихся узлах. По сравнению с применением традиционных смазочных материалов – пластичных и жидких смазок – антифрикционные покрытия имеют ряд преимуществ. В отличие от сухих смазок в виде натертых пленок частицы твердых веществ антифрикционных покрытий прочно удерживаются на поверхности с помощью связующего компонента. После нанесения антифрикционного покрытия образовавшаяся тонкая сухая смазочная пленка предотвращает налипание абразивной пыли и грязи на поверхность. Благодаря тому, что твердые смазочные вещества удерживаются на поверхности связующими, антифрикционные покрытия в большинстве случаев обеспечивают смазку на весь срок службы. Сухие смазки в составе АФП обладают исключительной термической стабильностью и химической инертностью, стойкостью к окислению и влаге. Они не стареют и не испаряются, способны эффективно работать в условиях радиации и вакуума даже после продолжительного простоя узла. Толщина покрытия легко контролируется и может составлять от 5 до 20 мкм [2], что практически не влияет на исходную точность размеров детали. Возможно локальное нанесение антифрикционных покрытий на определенные участки поверхности. Обладая высокими противозносными и антикоррозионными свойствами, АФП могут заменить хромирование, цинкование и другие виды обработки.

В литературе [3] приводятся результаты испытаний антифрикционных покрытий Molykote, которые показали их способность снижать трение до минимальных значений. Установлено, что при

применении покрытий на основе дисульфида молибдена коэффициент трения с ростом нагрузки снижается и стабилизируется на значении несколько сотых. Такое трение без применения антифрикционных покрытий возможно только в режиме жидкостной смазки, когда движущиеся поверхности полностью разделены слоем масла и не контактируют напрямую друг с другом.

Другие характеристики антифрикционных покрытий также значительно различаются в зависимости от имеющихся в составе сухих смазок. Сравнение некоторых свойств сухих смазок приведено в таблице 1 [1].

Таблица 1

Основные виды твердых смазок и их свойства

Свойства	Дисульфид молибдена	Графит	ПТФЭ
Минимальный коэффициент трения	0,002	0,05	0,03
Несущая способность, отн.ед.	100	50	6
Теплопроводность	низкая	средняя	очень низкая
Электропроводность	низкая	высокая	очень низкая
Максимальная рабочая температура на воздухе, °С	+450	+600	+260
Максимальная рабочая температура в вакууме, °С	+1100	не используется	зависит от прочих условий
Адгезия к металлам	высокая	средняя	низкая
Химическая стойкость	высокая	высокая	очень высокая
Влияние влаги на эксплуатационные свойства	отрицательно	положительно	не влияет
Цвет	темно-серый	черный	белый или прозрачный

Существенным недостатком графита, ограничивающим сферу его применения по сравнению с дисульфидом молибдена, является его недостаточная адгезия к металлическим поверхностям. Его молекулы неполярны и проявляют смазочные свойства лишь в присутствии влаги. Этот недостаток можно устранить путем внедрения в слоистую структуру графита поляризующих агентов. Высокая адгезия поляризованного графита к металлическим поверхностям, наряду с термической стабильностью, делают его одним из наиболее перспективных инновационных смазочных материалов.

Уже упомянутые продукты Molykote, производимые американской корпорацией Dow Corning, являются одними из самых современных антифрикционных покрытий [3]. Линейка продуктов включает антифрикционные покрытия на основе различных видов твердых смазок, а также специальных композиций. Связующее вещество в составе покрытия определяет его защитные свойства, химическую стойкость, а также тип отверждения (температуру полимеризации). При выборе конкретного антифрикционного покрытия Molykote необходимо учитывать конструкцию узла трения, условия его работы и желаемый способ нанесения смазочного материала. Антифрикционные покрытия Molykote способны работать при температурах от -200 °С до +450 °С. Это позволяет предлагать решения для самых различных, в том числе экстремальных условий. Например, Molykote 106 – сухая смазка на основе дисульфида молибдена и графита с эпоксидным связующим, с повышенной несущей способностью, применяется для эксплуатации сильно нагруженных пар трения с умеренными скоростями или колебательным режимом движения; замков, петель, шарниров и др. Molykote D-10 – сухая графитовая смазка на основе полиамидного связующего, для умеренных нагрузок используется для долговременной смазки скользящих поверхностей, в том числе имеющих прямой контакт с маслами и пластичной смазкой; снижения трения в таких деталях, как поршни бензиновых и дизельных двигателей, компрессоров и поршневых насосов, пневматических и гидравлических систем.

Антифрикционные покрытия позволяют решать целый спектр проблем при эксплуатации узлов трения. Эти инновационные продукты, став сегодня доступными и удобными для применения, открывают существенные резервы для повышения надежности и долговечности машин.

Литература.

1. Стукач А.В. Исследование и управление свойствами полимерных покрытий в процессе их формирования при восстановлении изношенных поверхностей и придании им антифрикционных свойств // ТТПС . – 2009. – №10. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-i-upravlenie-svoystvami-polimernyh-pokrytiy-v-protse-ih-formirovaniya-pri-vozstanovlenii-iznoshennyh-poverhnostey-i> (дата обращения: 27.02.2016).
2. Применение антифрикционных покрытий в технике [Электронный ресурс] – <http://www.fassen.net/video/5at6acnz-cs/>.
3. Что такое антифрикционные покрытия и в чем их преимущество перед пластичными смазками? [Электронный ресурс] – <http://atf.ru/press/320.html>.

**УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРЫ В НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ Ga, ПРИ T=400K**

*Е.С. Латышкова, студентка группы х-121,*

*научный руководитель: Шурыгина Л.И., Журавлева С.В., учебный мастер*

*ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», кафедра неорганической химии,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6*

*E-mail: epsur@kemsu.ru*

Галлий - относительно мягкий, ковкий металл, блестящего серебристого цвета с голубовато-серыми штрихами. Температура плавления 29,78 С. Объясняется это необычным строением кристаллов галлия. Его кристаллическая решетка образована не отдельными атомами, а двухатомными молекулами. Молекулы Ga<sub>2</sub> очень устойчивы, они сохраняются даже при переводе галлия в жидкое состояние. Но между собой эти молекулы связаны лишь слабыми вандерваальсовыми силами, и для разрушения их связи нужно совсем немного энергии [1].

Благодаря низкой температуре плавления галлий - основной компонент многих легкоплавких сплавов. Легкоплавкие галлиевые сплавы (как и сам галлий) обладают еще и способностью хорошо смачивать твердые материалы, благодаря чему их успешно применяют вместо ртути для создания жидких затворов в вакуумной аппаратуре. Галлиевые затворы надежнее сохраняют вакуум, чем ртутные. Главное же достоинство галлия в том, что он остается жидким в огромном интервале температур, значительно большем, чем у любого другого легкоплавкого металла. Расплавленный галлий начинает кипеть лишь после того, как температура достигнет 2230 С<sup>0</sup> [2,3].

В медицине широко применяют лампы ультрафиолетового излучения, катоды которых раньше обычно делали из ртути. Сплав алюминия с галлием лучше ртути справляется с этой работой: излучаемый лампами свет богаче целебными лучами [4].

Поистине удивительная способность галлия предопределила его важнейшее амплуа в технике - изготовление высокотемпературных термометров и манометров. Галлиевые термометры позволяют измерять такую высокую температуру (более 1000 С). Легкоплавкость в сочетании с широким интервалом существования расплава делают галлий потенциальным теплоносителем для атомных реакторов [5].

Изучение закономерностей процессов, протекающих при тепловом воздействии в наноразмерных слоях галлия, представляется необходимым в связи с разработкой принципиально новых материалов, стабильных в условиях коррозионного воздействия окружающей среды [6,7].

В настоящей работе представлены результаты исследований, направленные на выяснение закономерностей процессов, протекающих в условиях атмосферы в наноразмерных пленках галлия толщиной 8 нм до и после термической обработки

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме (2·10<sup>-3</sup> Па) путем нанесения тонких (8 нм) пленок галлия на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М».

Процедуру очистки проводили следующим образом: подложки из стекла (ГОСТ 9284 – 59), тщательно моем хозяйственным мылом с помощью щеточки:

- Стекла опускаем в концентрированную азотную кислоту (HNO<sub>3(конц)</sub>, 72%) на 10 минут, периодически помешивая стеклянной палочкой. Через 10 минут азотную кислоту сливаем, а стекла промываем дистиллированной водой.