

Всероссийский конкурс научно-инновационных работ для старшеклассников
(компания «Сименс»)



Физический проект

НАНОПЛАСТИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК САПФИРА НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ

**Научный руководитель: Сухов Вячеслав Григорьевич,
директор МБОУ ФМЛ**

Авторы работы:

**Галиева Мадина Айдаровна,
ученики 10 класса МБОУ ФМЛ г. Сергиев Посад**

Сергиев Посад, 2015 г.

Оглавление

Оглавление

1. Историческое введение и актуальность	3
Цели проекта:	3
Историческое введение:	3
Актуальность:	3
2. Ключевая идея предлагаемого проекта и теоретические расчеты, подтверждающие ее правомерность	5
Ключевая идея:	5
3. Описание методик	6
4. Описание полученных экспериментальных результатов	7
5. Анализ полученных результатов и план дальнейшего развития работы по проекту.	9
Анализ результатов:	9
План дальнейшего развития:	9
Список использованных материалов	11
Приложения	11
Приложение 1	11
Приложение 2	11
Приложение 3	11
Приложение 4	12
Приложение 5	12

1. Историческое введение и актуальность

Цели проекта:

- 1) Теоретическое и экспериментальное исследование наномасштабного тепломассопереноса при пластическом деформировании поверхности алюминия в присутствии кислорода.
- 2) Теоретический и экспериментальный поиск возможностей формирования сплошных пленок сапфира на поверхности алюминия посредством локального пластического деформирования приповерхностного слоя.
- 3) Оптимизация процесса формирования сапфировых пленок для:
 - электрической изоляции поверхности алюминия.
 - химической пассивации и механического упрочнения поверхности алюминия.
 - антиобледенительной защиты поверхности.
 - прецизионного полирования поверхности монокристаллического сапфира.

Историческое введение:

Сапфир – второй материал по твердости и первый по термохимической стойкости. Твердость материала определяется силой связи между составляющими его атомами и молекулами. Судя по мягкости металлического алюминия, силы связи между его атомами малы. Но в оксиде алюминия (коим сапфир и является) – судя по его твердости – силы связи гораздо больше. Сила связи и величина энергии связи, которая выделяется при связывании свободных исходных компонентов в монокристаллическое вещество, прямо пропорциональны друг другу. Если взять исходный металлический алюминий и организовать каким-нибудь способом связывание его с кислородом, то возможно будет получить более стойкий к воздействию сапфир в виде тонкой оксидной пленки, предохраняющей основную массу металла от окисления.

Но почему же эта оксидная пленка, защищая алюминий химически, не создает его механического упрочнения (хотя твердость оксида алюминия в десятки раз выше, чем у алюминия – металла)? Причина в том, что толщина пленки оксида алюминия, спонтанно образуемой на поверхности металла, составляет, по литературным данным, величину порядка 0,01 микрона. Этого достаточно для химической защиты, но явно мало для механического упрочнения, т.к. по причине малой толщины пленка легко разрушается под действием сравнительно малых нагрузок.

Актуальность:

В проекте планируется детально изучить зависимость структуры и свойств приповерхностного слоя оксида алюминия, формируемого на поверхности металла описанным выше способом, от параметров процесса.

Варианты применения упрочненного металла:

- электроизолирующие слои

Электроизоляционные свойства сапфира могут оказаться полезными для предохранения самолетов от электрических разрядов в грозовой атмосфере.

- поверхности трения
- поверхности изделий для работы в химически агрессивных средах
- оптические алюминиевые зеркала

Материал, полученный применением нашего метода, может быть использован также в оптике в качестве практически не темнеющего, прочного и долговечного отражателя. Сапфировая плёнка обеспечит защиту от налипания пыли, царапин и потемнения алюминиевой основы, что позволит использовать подобные зеркала в местах и условиях, в которых регулярная замена, чистка или полировка будут либо сильно затруднены, либо практически невозможны.

- антиобледенительная обработка поверхностей самолетов и проводов и т.д.

Алюминий и его сплавы – один из главных конструкционных материалов авиационной и космической техники благодаря малому удельному весу. Но, с другой стороны, низкая механическая прочность алюминия стимулирует поиски методик его упрочнения. Один из применяемых способов – нанесение на поверхность алюминия защитных пленок, что требует помещения изделий в специальные камеры, что не всегда приемлемо – например, для обработки крупногабаритных летательных аппаратов. Поэтому важно найти метод защитной обработки материалов на основе алюминия локальными воздействиями (типа антиобледенительной обработки корпусов самолетов перед вылетом или покраски). Сапфир с точки зрения защиты алюминия весьма привлекателен. Он тверд, термически и химически стоек до температур порядка 2000 гр. С, имеет высокую электрическую прочность и, естественно, хорошо совместим с алюминием. (приложение 1 – иллюстрация)

- антипригарная обработка сковородок и других видов пищевого оборудования

Алюминий покрыт тонким и неравномерным слоем оксида, составленным из своеобразных «чешуек», расположенных под углом к поверхности самого алюминия, из-за чего и происходит пригорание пищи к сковородкам из данного материала. Наш метод обработки алюминия позволит сформировать более равномерную и монолитную защитную плёнку из оксида, вследствие чего пища не будет пригорать. Это позволит производить достаточно дешёвые, лёгкие, прочные и при этом антипригарные сковороды и прочие элементы кухонной и другой бытовой утвари. К тому же данное покрытие, по нашему мнению, получится практически химически инертным, что немаловажно для пищевого оборудования.

2. Ключевая идея предлагаемого проекта и теоретические расчеты, подтверждающие ее правомерность

Ключевая идея:

Из сказанного выше следует, что для сочетания химического и механического упрочнения алюминия необходимо значительно увеличить (в тысячу или более раз) толщину монокристаллического слоя оксида на его поверхности. А для этого, в свою очередь, требуется обеспечить соответствующее увеличение количества приповерхностных атомов алюминия, вступающих в контакт с кислородом из внешней среды. В нашем проекте для решения этой задачи используется механическая пластичность металлического алюминия. В поверхность металлического алюминия под определенной нагрузкой вдавливаются шарики из твердого материала (например, закаленной стали). При этом часть поверхности непосредственно под шариком утапливается вглубь металла, но зато прилегающие к шарикам области выдавливаются наружу. Это означает, что приповерхностные оксиды внедряются внутрь металла, а на смену им изнутри выходят на поверхность неокисленные атомы алюминия, которые в результате соединения с кислородом из окружающей среды быстро превращаются в оксид. Многократное прокатывание шарика, прижимаемого к поверхности определенной нагрузкой, по обрабатываемому участку приведет в конечном итоге к тому, что подавляющее число атомов алюминия, расположенных в слое определенной толщины у поверхности металла, окажутся окисленными. Таким образом, за счет нанопластического перемешивания атомов и молекул у поверхности будет сформирован слой оксида алюминия. (приложение 2 – иллюстрация)

Толщина, степень сплошности и другие характеристики этого слоя будут должны зависеть от глубины погружения шарика, его поперечного размера и скорости движения вдоль поверхности. Этими параметрами будет определяться скорость соединения атомов и соответствующая мощность тепловыделения. Локальный разогрев приповерхностного слоя будет определяться соотношением мощности тепловыделения и скорости теплоотвода.

Следует подчеркнуть, что химическая инертность приповерхностного слоя будет определяться не только его толщиной, но и степенью гладкости. Хорошо известно, что на шероховатых поверхностях посторонние молекулы задерживаются значительно дольше, чем на атомарно гладких. А время пребывания молекулы на поверхности непосредственно определяет скорость химической реакции между ней и контактирующим с ней веществом. Поэтому наноскопически гладкие материалы будут вести себя по отношению к агрессивным средам гораздо инертнее по сравнению с теми же шероховатыми материалами. То же самое можно сказать о вероятностях обледенения поверхностей самолетов или проводов, вероятности пригорания жареной пищи к поверхности сковороды и т.д.

3. Описание методик

1) Наблюдение микроскопии приповерхностного массопереноса при локальном деформировании модельных твердых тел.

В качестве модельного тела мы будем использовать кристалл йодистого цезия. Поместив образец в поляризационный микроскоп и настроив резкость на горизонтальную прорезь в кристалле, расположим поляризаторы так, чтобы в итоге свет практически не проходил через систему. Начнём воздействовать на кристалл в районе прорези с помощью стержня с подвижным шариком. Мы увидим, как в месте воздействия возникают области напряжения, разделённые на характерные полосы – более тёмные и более светлые. Мы предполагаем, что в этих полосах разная плотность материала, т.е. атомы из посветлевших областей переместились в потемневшие. Но, передвигая стержень вдоль разреза с сохранением давления, мы замечаем, что в областях, не подвергающихся воздействию, вещество возвращается в исходное состояние. Стало быть, в уже прокатанных областях атомы перемешались между собой, что подтверждается при проведении аналогичного опыта, но с нанесением на обрабатываемую поверхность краски. Мы предполагаем, что алюминий, имея кристаллическое строение, будет вести себя сходным образом.

2) Изучение структуры и свойств пленок сапфира, спонтанно сформированных на поверхности алюминия.

4. Описание полученных экспериментальных результатов

1. Стандартный оптический микроскоп «Микмед-6» производства ЛОМО переоборудован в поляризационный путем установки на выходные торцы микрообъективов и осветителя вращающихся втулок с закрепленными на них пленочными поляроидами. Информативность наблюдений структуры материалов с переходом на поляризованный свет значительно повышается. (схемы преобразований – приложение 3-5)
2. Отработаны методики поляризационно – оптического наблюдения микропреобразований структуры дефектов и массопереноса в твердых телах при локальном микропластическом деформировании на основе применения прозрачных аморфных и кристаллических материалов.
3. Отработана методика поляризационно – оптического наблюдения формирования сапфировых пленок на поверхности алюминия при микропластическом деформировании.
4. Посредством видеозаписи поляризационно – оптической картины локального пластического микродеформирования зарегистрирована динамика развития сверхструктуры дефектов в приповерхностном слое кристалла и показана, что монокристаллические области заполняются квазипериодическими рядами перекрещивающихся полос скольжения.
5. Посредством видеозаписи оптической картины локального пластического микродеформирования зарегистрирована динамика проникновения инородных веществ в приповерхностный слой кристалла и показано, что при возвратно-поступательном движении по поверхности деформирующего шарика траектории проникновения этих веществ представляют собой, в основном, дуги квазиокружностей.
6. Посредством поляризационно – оптических микронаблюдений обнаружено формирование монокристаллических пленок сапфира размерами порядка 100 микрон на поверхности алюминия в результате многократной шариковой обкатки его поверхности.
7. Предложена модель формирования перекрещивающихся квазипараллельных рядов структурных дефектов в приповерхностном слое кристалла, подвергающегося локальному сжимающе-сдвиговому деформированию. Модель основана на генерировании дислокаций (носителей пластической деформации в кристаллах) у поверхности под действием сжимающего напряжения и движением их внутрь по наиболее выгодным для этого кристаллографическим плоскостям.

8. Предложена модель дугообразного проникновения инородных веществ внутрь кристалла при локальном сжимающего – сдвиговом деформировании, основанная на захвате наночастиц этих веществ дислокациями, увлекающими наночастицы вглубь кристалла. Дугообразная форма траекторий объясняется возвратно-поступательным движением деформирующего шарика, в результате чего в каждой точке приповерхностного слоя происходит периодическое вращательное изменение направления локального напряжения.
9. Предложена модель формирования монокристаллических пленок сапфира на поверхности локально деформируемого алюминия, основанная на окислении атомов алюминия, выносимых на поверхность при деформировании, адсорбированным на поверхности кислородом.
10. Проведены оценки скорости доставки кислорода к поверхности алюминия, необходимой для формирования на поверхности сплошной монокристаллической пленки сапфира и подготовлены варианты соответствующих устройств для последующих экспериментов.
11. Проведены оценки параметров микропластического деформирования поверхности алюминия в присутствии притока кислорода, необходимые для формирования сплошной пленки сапфира и подготовлены варианты соответствующих методических решений.
12. Подготовлен рассчитанный на три месяца план экспериментальной работы по формированию сапфировых пленок на поверхности алюминия микропластическим деформированием и измерению характеристик этих пленок (толщины, структуры, микротвердости, электросопротивления, адгезии воды и льда).

5. Анализ полученных результатов и план дальнейшего развития работы по проекту.

Анализ результатов:

1. В результате воздействия на образец алюминия (способ – см. «Ключевая идея») мы получили небольшое вкрапление оксида алюминия – сапфира (см. приложение 9 – вкрапление в неполяризованном свете, а также в поляризованном свете при различных углах поворота), то есть была достигнута одна из поставленных нами задач. После длительного воздействия шариком из закаленной стали на поверхность алюминиевой пластинки (прокатка) мы в итоге получили небольшой участок с сапфиром (оксидом алюминия). Мы получили не сплошную пленку сапфира, а лишь небольшое вкрапление, т.к. концентрация молекул в алюминии 10^{22} молекул на см^3 , в то время как концентрация молекул в газе лишь 10^{19} молекул на см^3 , поэтому мы получаем соотношение 1 молекула кислорода на 1000 молекул алюминия (дефицит кислорода). Перед нами встает другая задача: обеспечить наличие достаточного количества кислорода у поверхности алюминия в течение всего прокатывания. Этого можно добиться несколькими способами. (способы – см. «План дальнейшего развития»)

2. Одной из ключевых идей нашего проекта является передвижение молекул по круговым «орбитам» во время прокатки. Рассмотрев кристалл йодистого цезия (мы взяли йодистый цезий в качестве модели, так как он является кристаллом, как и алюминий, но является, в отличие от него, прозрачным и удобным для осмотра на просвет) в поляризованном свете, мы можем увидеть микроканалы, по которым вещество перемещается при воздействии прокаткой. Причем они расположены под углом к поверхности цезия. (см. приложение 7 – распределение краски)

3. Кроме того, было замечено, что при разных силах давления на материал мы получаем разные эффекты. При меньшем давлении мы получаем зеркально гладкую полосу на материале, при большем — полосу с микротрещинами; при помощи этого свойства можно оптимизировать процесс. (см. приложение 8 – полоса деформации с перепадом силы давления (в поляризованном и неполяризованном свете)) (описание оптимизации – см. «План дальнейшего развития»)

План дальнейшего развития:

В ближайшие три месяца планируется найти режимы микродеформационной обработки поверхности алюминия, формирующие сплошные сапфировые пленки. После этого будут изучены зависимости характеристик этих пленок от режимов их получения. В набор этих характеристик включено следующее: механическая твердость и адгезионное сцепление с алюминием, водоотталкивающие и антиобледенительные свойства, пассивация поверхности по отношению к другим веществам (например, сопротивление пригоранию поджариваемой пищи для алюминиевых сковород), электрическое сопротивление, химическая стойкость по отношению к кислотам и щелочам, стойкость к термоударам, светоотражательная способность.

Способы обеспечения приповерхностного слоя воздуха кислородом:

1. Один из предлагаемых нами способов — прокатывание алюминия роликом с микропорами, в который под давлением будет подаваться кислород. Выделяясь

при прокатывании, кислород будет поступать к образцу и мгновенно реагировать с алюминием.

2. Второй способ основан на нашей теории о свойствах бертолетовой соли. Известно, что бертолетова соль ($KClO_3$) при нагревании разлагается с выделением кислорода ($4KClO_3=3KClO_4+KCl$; $KClO_4=KCl+2O_2$). Наша теория состоит в том, что бертолетова соль разлагается и при деформации (из-за того, что она, возможно, нагреется достаточно при деформации). Эту теорию нам предстоит проверить на практике, что составляет один из наших планов на будущее проекта.

Применение свойств поверхности при различной силе воздействия на нее: Так как с появлением микротрещин площадь поверхности материала значительно увеличивается и материал становится шершавым, то такую силу давления необходимо использовать на ранних стадиях для утолщения слоя получаемого сапфира и лучшего доступа кислорода к поверхности материала. На поздних же стадиях необходимо использовать меньшую силу давления для обеспечения гладкости слоя.

В наши дальнейшие планы также входит использование следующих методик:

- 1) Изучение морфологии пленок сапфира, формируемых при разных способах формирования их на поверхности алюминия.
- 2) Изучение электрических, механических, химических свойств пленок сапфира по п. 6.3.
- 3) Изучение антипригарных, антифрикционных, антиобледенительных характеристик пленок сапфира по п. 6.3.

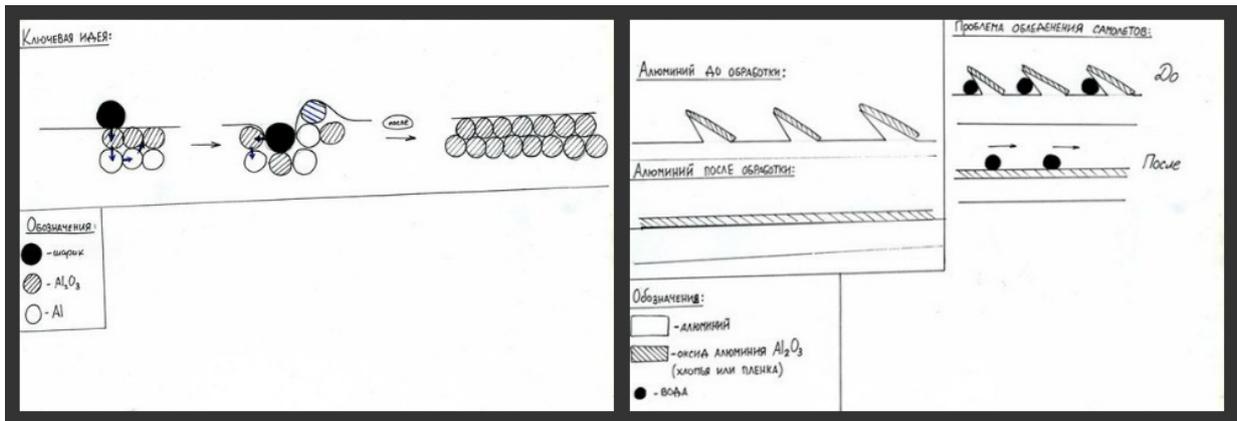
Список использованных материалов

1. Научные работы и патенты:

Н.В. Классен, С.И. Махонин, Ю.А. Осипьян. Применение пластической деформации в производстве твердотельных оптических элементов. Материаловедение, 1997, №2, стр. 47 – 52.

Приложения

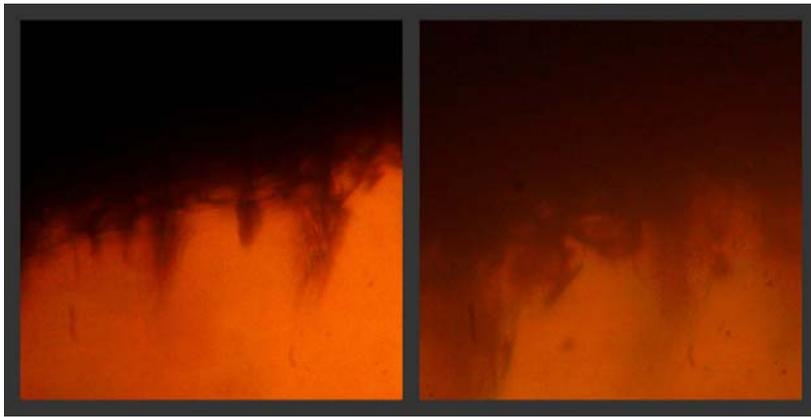
Приложение 1



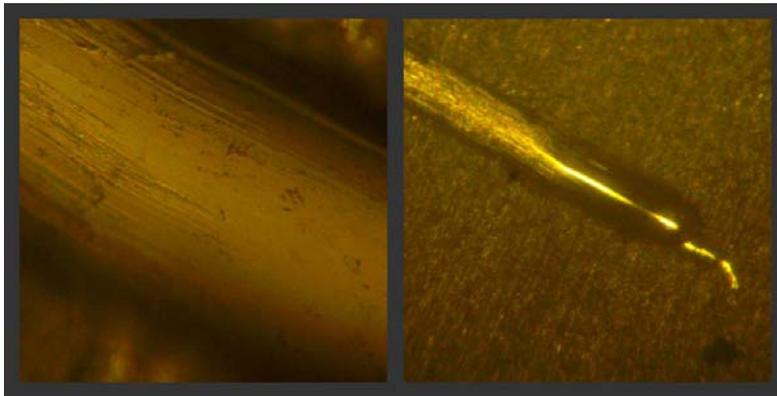
Приложение 2



Приложение 3.



Приложение 4.



Приложение 5.

