

У. Д. К. 621.793:621.9.02

д. т. н. Г. И. Костюк
 А. А. Белоусов
 к. т. н. И. Г. Левченко
 А. А. Некрасов
 А. С. Трушин

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ С ЗАДАНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Уровень развития техники в наши дни определяется, в основном, примененными материалами. Жаропрочные сплавы для двигателестроения, легкие композиционные материалы для корпусов летательных аппаратов, сверхпрочные волоконные материалы, керамика - дали возможность резко поднять характеристики машин.

Проблема рационального конструирования в наши дни не столь важна как раньше. Передовая техника, как правило, (особенно в авиации и космонавтике) базируется на передовых материалах. Между тем, при разработке новых материалов и конструкций, часто упускается тот факт, что разрушение деталей всегда происходит с поверхности. В случае контакта происходит изнашивание деталей. Усталостные трещины зарождаются на поверхности. Абразивный износ в потоке среды происходит на поверхности. На поверхность действуют высокие температуры и т. д. Безусловно, упрочнения разного рода широко применяются, но поскольку разрушения как и раньше происходят исключительно на поверхности, проблема упрочнения остается основной. Классические способы упрочнения поверхности, по-видимому, не смогут решить эту проблему.

В чем тут дело? Можно ли утверждать, что классическое упрочнение не позволит решить эту проблему? Дело в том, что существующие процессы слишком "грубы" для такого рода задачи. Процессы разрушения поверхности происходят в тонких слоях и борьба с ними требует более "тонкого" подхода.

В самом деле, при обычных процессах упрочнения мы, повышая одно качество, ухудшаем другое. Закаливая поверхностный слой, мы увеличиваем его твердость, что может приводить к его растрескиванию. Производя диффузионное насыщение упрочняющим элементом, одновременно обедняем его (за счет той же диффузии) другими элементами. Имплантируя, создаем высокие внутренние напряжения и т. д. Происходит это потому, что мы осуществляем "макровоздействие" на деталь. Очевидно, необходимо отказаться от такого пути и перейти к более тонким процессам, тем более что возможности для этого есть.

Технологий, обобщенно называемые ионно-плазменными, в принципе позволяют произвести упрочнение поверхности необходимым образом, т. к. в отличие от обычных методов упрочнения (термических, диффузионных и т. д.), поддаются управлению в гораздо большей степени. Пожалуй, будет справедливо, рассматривать внедрение электрических методов в материаловедение иллюстрацией общей

тенденции - по мере развития область науки (техника) неминуемо начинает затрагивать присущие ей электрические явления. Объясняется это именно легкостью управления электрическими явлениями. Но необходимо отметить, что подход к ионным технологиям остается, до сих пор, неверным - "по инерции". Привычка управлять макропараметрами срабатывает и здесь. Как правило, управляют температурой, напряжением, током давлением. Каждый из этих параметров влияет на всю совокупность поверхностных процессов и результат оказывается подобным тому, что мы имеем при обычном упрочнении - совершенствуя одно, портим другое. Наносим пленку с высокой адгезией при высокой температуре и портим структуру металла, насыщаем его ненужными примесями. Создавая условия для адгезии, получаем пленку с плохой структурой; получая пленку с хорошей структурой, не можем добиться адгезии и т.д. Причина этого - "грубый" подход к микросистеме. Между тем, с помощью ионного потока можно создавать на поверхности любые структуры, ибо происходящие явления легко поддаются управлению. Необходимо кардинально поменять переход к проектированию технологии такого рода - вместо подхода "сверху" - от макропараметров - к подходу "снизу" - от физики образования пленок (структур) - к управляющим параметрам, как макро-, так и микро.

Даже беглый взгляд позволяет понять, что правильно понимая происходящие на поверхности явления, мы получим в руки огромные возможности управления структурой и свойствами покрытий. Дело в том, что мы уже умеем управлять поверхностными процессами, мы нуждаемся в теории, которая позволила бы нам построить нужную структуру на поверхности, управляя тем или иным процессом.

Так, например, описав влияние поверхности диффузии на структуру растущей пленки, мы приходим к необходимости управления диффузией по заданному закону. Способы же управления известны и многочисленны, например:

- изменение температуры;
- облучение электромагнитной волной (резонансные явления);
- акустическое воздействие (поверхностные волны, влияющие на состояние поверхности и адсорбированных частиц);
- введение специальных добавок, не входящих в состав пленки, но изменяющих поверхностные величины (энергию связи атома с подложкой и др.).

Суть в том, что влияние всех этих эффектов на поверхностную диффузию известно. Необходимо знать закон управления. Более того, мы получаем в руки достаточно много способов управления и можем выбирать наиболее подходящие.

Еще один пример: влияние заряда островков на процесс конденсации. Зарядом управлять можно тоже многочисленными способами, например:

- меняя степень ионизации;
- облучая поверхность электронами;
- изменяя условия стекания заряда (например, добавляя газ в камеру, уменьшающий (увеличивающий) энергию эмиссии и т.д.).

Существует еще множество способов управления кинетикой конденсации пленки. Понимая все происходящие процессы и управляя должным образом, мы сможем создавать практически любые покрытия.

Т. о. комплексная модель конденсации пленки должна вскрывать зависимость характеристик пленки не от макропараметров (давление, температура, ток и др.), а от микропараметров (коэффициент поверхностной диффузии, энергия связи атомов друг с другом и с подложкой; электрический заряд на поверхности; частота перескоков; состав атмосферы в камере и т. д.), что во много раз увеличит возможности управления, позволит управлять каким-либо параметром, не влияя на остальные.

Обладая столь мощными средствами воздействия на кинетику поверхностных процессов, мы сможем создавать практически любые структуры на поверхности. А раз так, то мы должны проанализировать условия работы обрабатываемой детали, исходя из богатых возможностей управления. Возникает следующая идея: создавать не пленки с заданными характеристиками, а специальные поверхностные структуры (СПС), предназначенные для работы в определенных условиях. Это, по всей видимости, позволит сделать существенный рывок вперед в проблеме поверхностного упрочнения.

Рассмотрим это на примере пары трения (несомненно, наиболее острая проблема в машиностроении). Известно, что структура зоны сложна, состоит из ряда областей: пленки (гидродинамической), зоны пластической деформации, зоны упругих деформаций и часто ряда других. Структура эта устанавливается не сразу, а в процессе приработки, когда происходит сильный износ, увеличиваются люфты и т. д. Следовательно, мы должны изначально сформировать нужную нам структуру зоны контакта и не просто сформировать, но заменить каждый из слоев соответствующим искусственным, лучше подходящим для работы в этих условиях, с заданным составом и структурой. Кроме этого, создавая СПС для конкретного случая, мы должны привлечь новейшие достижения.

Так, рассматривая пару трения, мы можем создать условия для существования сервовитной пленки, снижающей износ в десятки раз. Это весьма интересный объект: снижение износа происходит не за счет уменьшения трения, а за счет способности сервовитной пленки (СП) самовосстанавливаться при случайных повреждениях. Описание подобных систем возможно с привлечением теории синергетических процессов. Как правило, СП представляет собой чисто медную пленку в зоне контакта (причем, возникает она самостоятельно, а не создается заранее). В системе должен быть источник меди (например, бронзовая втулка в паре трения, либо даже медная деталь, с которой контактирует смазка, в стороне от зоны трения) и ряд других условий. Исходя из условий существования сервовитной пленки, можно предложить, например, такую СП:

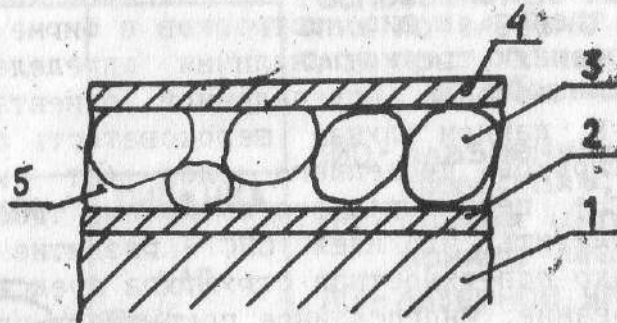


Рис. 1.

где 1 - основная деталь; 2 - адгезионный подслои; 3 - материал с высоким содержанием Cu , например бронза; 4 - эластичный (амортизирующий) подслои (мелкопористый); 5 - твердый мелкопористый подслои; 6 - крупнопористый подслои, передающий нагрузку.

Cu из слоя (3-6) диффундирует через слои 4, 5.

Для пары, работающей в условиях ударных нагрузок, возможна такая СПС:

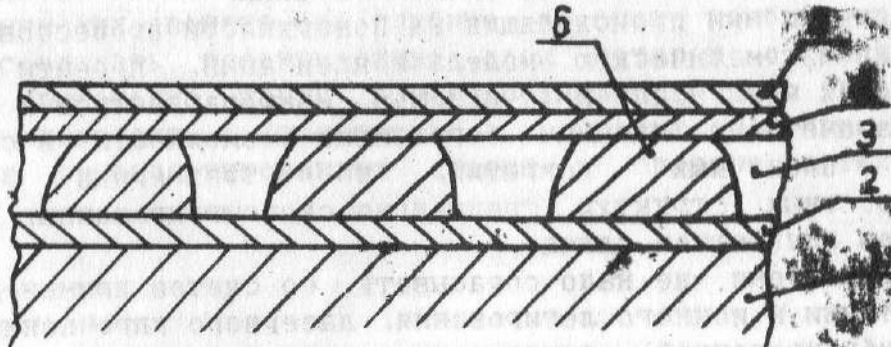


Рис. 2.

1 - детали; 2 - подслои; 3, 5 - амортизирующий подслои, представляющий собой композицию упругих элементов 3 и Cu -содержащего вещества 5; 4 - твердый подслои (мелкопористый).

Там, где существование сервовитной пленки невозможно, возможно применение самосмазывающихся структур.

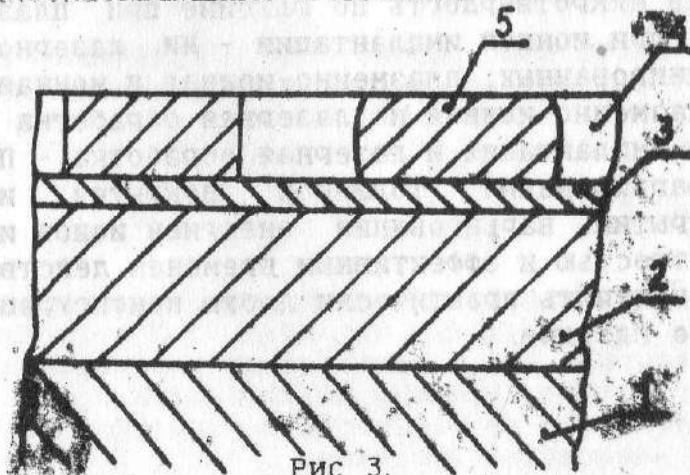


Рис. 3.

1 - деталь; 2 - эластичный подслои; 3 - адгезионный подслои; - вещество, играющее роль смазки; 5 - несущий твердый слой с низким коэффициентом трения, в виде островков в фирме дисков.

Ряд пар трения требует наличия определенной (оптимальной) шероховатости, часто с определенной ориентацией (относительно направления). В данном случае шероховатость будет определяться величиной островков последнего слоя (от нуля до нескольких миллиметров, т. е. перекрывая все возможные требования).

Нетрудно заметить, что идея СПС - развитие идеи многослойных покрытий. Однако поверхностная структура представляет собой более сложное образование; многослойное покрытие - одномерная система, СПС - двух- и трехмерная система.

Каким же образом математическая модель конденсации позволит создать столь сложные структуры? В принципе все пленки создаются лишь двумя способами - либо "по одному атому", либо из островков. Следовательно, алгоритм создания СПС следующий:

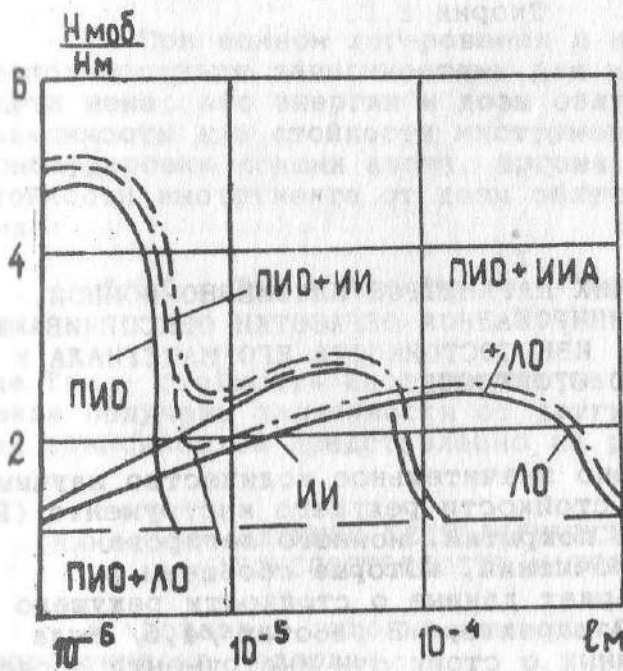
1. Теоретическое конструирование СПС "на бумаге".
2. Определение (выбор) материалов: величины, формы и состава островка ("кирпичиков"), из которых предполагается построить СПС.
3. По модели - выбор совокупности режимов нанесения и методов и способов управления кинетикой конденсации.

Анализ физики происходящих на поверхности процессов позволяет, построив математическую модель конденсации, перейти от грубого управления конденсацией с помощью макропараметров к управлению микропараметрами, дающими богатейшие возможности в создании не просто пленочных покрытий, но трехмерных специальных поверхностных структур, специально сконструированных для работы в каждом конкретном случае.

В тоже время не надо сбрасывать со счетов применение ионной имплантации и ионного легирования, лазерного упрочнения, которые в комбинированной технологии, включающей ионно-плазменное покрытие могут существенно расширить возможности создания поверхностных слоев с исключительными свойствами, как по глубине (до одного миллиметра), так и по разнообразию свойств.

Комбинированные технологии позволяют создать поверхностные слои с требуемыми свойствами. Так на рис. 4 показано, как может быть распределена микротвердость по глубине при плазменно-ионной обработке - ПИО, при ионной имплантации - ИИ, лазерной обработке - ЛО и при комбинированных: плазменно-ионная и ионная имплантация - ПИО + ИИ; плазменно-ионная и лазерная обработка - ПИО + ЛО; плазменно-ионная имплантация и лазерная обработка - ПИО + ИИ + ЛО.

За счет варьирования толщиной покрытия, использования многослойных покрытий, варьирования энергией ионов и сортом при имплантации, плотностью и эффективным временем действия лазерного излучения можно получить практически любую конфигурацию изменения микротвердости по глубине.



Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя при разных видах обработки:

- ПИО - плазменно-ионная обработка;
- ИИ - ионная имплантация и ионное легирование;
- ЛО - лазерное упрочнение.

Рис. 4.

Все это позволит в совокупности с созданием СПС за счет ионно-плазменной обработки и с учетом заданного изменения физико-механических свойств по глубине за счет комбинированной технологии создавать поверхностные слои деталей с заданными свойствами. Применение таких поверхностных слоев с заданными свойствами позволит существенно сократить применение дорогостоящих высоколегированных сталей и сплавов в технике.