

УДК 593.121.8.04

КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЕННО – ИОННОГО ПОКРЫТИЯ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Костюк Г.И. д-р техн. наук, Бруйка О.О., Кот Н.И.

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"

Исследовано влияние режимов ионной обработки на качество обрабатываемой поверхности с покрытием, получены режимы, обеспечивающие получение минимального количества капель на поверхности и тонкие слои титана с TiC и TiO₂ (дифрактограммы с «Дрон-3М»). Показана возможность создания комбинированной обработки на основе ионно-лучевой и плазменно-ионной обработок.

Досліджено вплив режимів іонної обробки на якість оброблюваної поверхні з покриттям, отримані режими, що забезпечують одержання мінімальної кількості крапля на поверхні і тонкі шари титана з TiC і TiO₂ (дифрактограми з "Дрон-3М"). Показано можливість створення комбінованої обробки на основі іонно-променевої та плазмово-іонної обробок.

Influence of modes of ionic processing on quality of a processable surface is investigated, the modes providing reception of a minimum quantity of drops on a surface and thin layers of the titan with TiC and TiO₂ are received. The opportunity of creation of the combined processing is shown on the basis of ionic-beam and plasma-ionic processing.

Введение

Характер ионной обработки во времени и режимы обработки, напряжение, ток дуги и давление реакционного газа оказывают влияние на качество поверхности перед напылением покрытия, а, значит, и на характеристики поверхностного слоя, в тоже время ионная обработка покрытия тоже может изменить свойства поверхностного слоя.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки, "Новые и ресурсосберегающие и технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе "(подсекция 13) "Аэрокосмическая техника и транспорт" и по темам "Создание физико-технических основ повышения качества материала аэрокосмических конструкций" и "Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники", и хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Состояние вопроса

Проведенные ранее исследования [1 – 8] позволяют утверждать, что совмещение процесса ионной имплантации с нанесением покрытий может увеличить толщину упрочненного слоя и его физико-механические и эксплуатационные характеристики. Все это говорит о широких возможностях комбинированных технологий [1, 2, 4, 7], а возможность получения наноструктур рассмотрена в [8].

Ионная бомбардировка подложки является необходимой операцией в технологическом процессе подготовки последней к нанесению пленки нитрида титана. Поэтому весьма важно изучение связи режимов ионной бомбардировки с качеством осаждаемых пленок TiN.

Методика исследований

Ионную бомбардировку подложки и нанесению на нее пленки нитрида титана проводили в установке ионно-плазменного напыления «Булат-6». Исследовали образцы из стали 20, 12ХНЗА, рабочие поверхности которых шлифовали, затем полировали алмазными пластинами до зеркального блеска, подвергали их ионной бомбардировке при токе дуги 70, 80, 90, 110 А. Из них часть образцов покрывали пленкой TiN толщиной около 8 мкм. Катод одного плазменного источника был новый, ресурс второго подходил к концу. Нерабочие поверхности образцов закрывали экранами. После ионной бомбардировки и нанесения нитрида титана образцы исследовали на оптическом микроскопах МИМ-7 и «Neofot», на низковольтном растровом электронном микроскопе РЭМН-200, фотографировали, измеряли микротвердость микротвердомером ПМТ-3, толщину слоя TiN – на интерферометре Линника и на специальном приборе конструкции «УкрСпецсталь». Изменение веса образцов вследствие ионной бомбардировки определяли с помощью аналитических весов. Содержание α-фазы и ее распределение по размерам находили по фотографиям плоского сечения образцов методом линейного анализа [2]. Состав поверхностного слоя исследовали на рентгеновском дифрактометре «Дрон-3М» в излучении Co в угловом диапазоне от 30° до 160°.

Результаты исследований

С зажиганием дуги в источнике плазмы, при подаче на подложку отрицательного потенциала образец начинают бомбардировать положительные ионы, извлекаемые из плазмы. При столкновении последних с поверхностью образца

происходит ее распыление, тем интенсивнее, чем больше ионный ток на нее и больше энергия ионов. Поэтому с увеличением разрядного тока от нижнего предела, определяемого устойчивостью дуги, по разному в одинаковые промежутки времени меняется морфология поверхности образцов. Распыление идет неравномерно, поэтому

вначале еще остаются медленно распыляемые участки изначальной поверхности (рис. 1, а). Также видны следы финишной обработки, на поверхности уже появляются частички жидкой α -фазы.

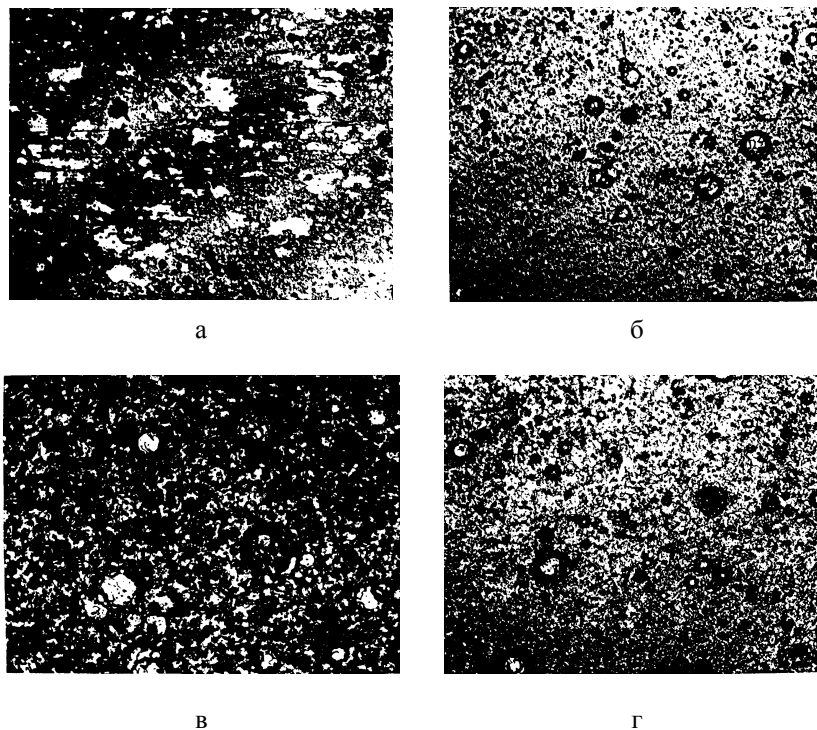


Рис. 1. Влияние разрядного тока на морфологию бомбардируемых поверхностей образцов из стали 20 (увеличение в 400 раз): а – $I_d = 63$ А, $t_{иб} = 20$ мин, % α - $Ti = 9$ %, новый катод; б – $I_d = 70$ А, $t_{иб} = 20$ мин, % $\alpha Ti = 12$, изношенный катод; в – $I_d = 110$ А, $t_{иб} = 15$ мин, % $\alpha Ti = 25$, новый катод ; г – $I_d = 110$ А, $t_{иб} = 15$ мин, % $\alpha Ti = 16$, изношенный катод

То, что поверхность напыляется неоднородно видно из появления кратеров, выглядящих на снимках темными кружками с белым ореолом. Хорошо видно, что жидкие капельки падают на бомбардируемую поверхность с разной скоростью и приобретают после столкновения вид шариков, лепешек или разбрызгиваются при ударе (рис. 1, б). Как можно судить по рис. 1 (в), за образование кратера отвечает примесь с большой вторично-эмиссионной активностью. Это характерно для сталей не обладающих высокими прочностными характеристиками.

Частицы α -фазы имеют различные размеры, по форме приближаясь к капелькам (рис. 1, б – г). Расплющивание, похоже, характерно для очень маленьких размеров, т.к. обнаружено только при очень больших увеличениях.

Цвет поверхности после ионной бомбардировки продолжительностью свыше 20 минут – серый, матовый; с увеличением разрядного тока она приобретает легкий желто-красный оттенок, а капельки α -фазы получают самые разные размеры и форму.

На рис. 2 для случая ускоряющего напряжения 1100 В приведен график, показывающий изменение скорости массопереноса V_m в зависимости от разрядного тока I_p ионного источника.

Из графика видно, что увеличение тока дуги в рассматриваемом диапазоне сопровождается возрастанием скорости массопереноса. Его величина зависит также от состояния катода ионного источника: массоперенос образца под действием ионного потока от источника со старым, изношенным катодом, больше, чем от источника с новым. Как видно из рис. 1 (в, г), капельной фазы от источника с новым катодом на образец попадает больше, поэтому результирующий массоперенос меньше.

Для определения условий взаимоперехода поверхностного слоя и подложки был сделан шлиф, перпендикулярный поверхности, облучаемый ионным потоком. Образующийся слой тонкий, с неровной внешней границей. Граница, разделяющая подложку и слой четкая, а прилегающие слои исходного материала – обезуглерожены на глубину 25...40 мкм, что

Комбинированная обработка на основе...

особенно хорошо видно на образцах из стали 20 (отсутствуют перлитные зерна).

Анализ дифрактограммы (рис. 3) поверхности образцов, подвергнутых ионной

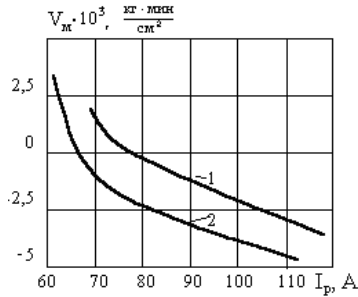


Рис. 2. Влияние разрядного тока I_p на скорость массового переноса V_m для случая ускоряющего напряжения $U_{\text{уск}} = 1100$ В: 1 – новый катод; 2 – изношенный катод

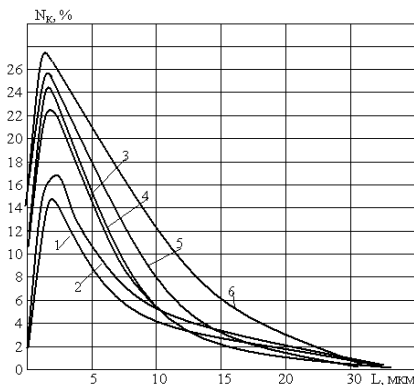


Рис. 4. Распределение капелек α -фазы N_k по размерам L : 1 – источник со старым катодом, $I_p = 70$ А; 2 – источник со старым катодом, $I_p = 110$ А; 3 – источник с новым катодом, $I_p = 70$ А; 4 – источник с новым катодом, $I_p = 110$ А; 5 – покрытие TiN, $I_p = 70$ А; 6 – покрытие TiN, $I_p = 110$ А

При использовании ионного источника со старым катодом, образующийся на образце слой содержит в три раза больше карбида титана, чем при использовании нового катода.

Микротвердость, обработанных в указанных условиях, образцов осталась на прежнем уровне.

Распределение α -фазы по размерам в зависимости от вида катода (нового или старого) и величины разрядного тока приведены на рис. 4.

Таким образом во время ионной бомбардировки происходит обезуглероживание и ионное распыление поверхности стальных образцов. На них оседают тонкие слои титана с добавлением TiC и TiO₂, толщина которых растет до некоторого значения с увеличением разрядного тока. Распыление образца через пленку титана увеличивается в рассматриваемом диапазоне по мере увеличения тока разряда.

Влияет ли продолжительность ионной бомбардировки в русле рассматриваемого механизма на качество пленки нитрида титана?

бомбардировке, показали кроме железа наличие фаз титана, карбида титана, в соотношении примерно 0,5:1 и следы двуокиси титана.

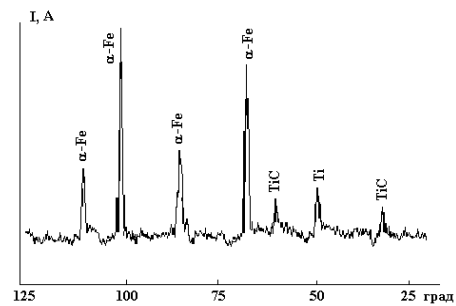


Рис. 3. Фрагмент дифрактограммы образца стали 20, подвергнутого ионной бомбардировке: $\lambda_{\text{Co}} = 1,76892$ Å, $U = 35$ кВ, $I = 20$ мА, $V = 300$ мм

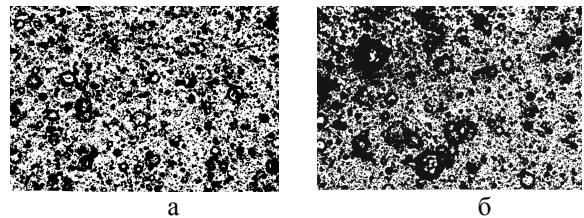


Рис. 5. Электронно-микроскопические снимки поверхности образцов с различной продолжительностью ионной бомбардировки с увеличением в 400 раз: а – $I_p = 100$ А, $P_N = 0,4$ Па, $\alpha\text{-Ti} - 36\%$, $\tau_{\text{иоб}} = 15$ мин; б – $I_p = 100$ А, $P_N = 0,4$ Па, $\alpha\text{-Ti} - 36\%$, $\tau_{\text{иоб}} = 15$ мин

Как показывают испытания, развитие на поверхности, подвергаемой бомбардировке, пленки титана с его соединений приводит к ухудшению внешнего вида и увеличению шероховатости, к росту крупноразмерных жидких капелек (рис. 5). Уменьшение времени предварительной ионной бомбардировки снижает количество α -фазы на поверхности (рис. 5, б). Естественно, что состояние поверхности после бомбардировки влияет на состояние наносимой затем пленки нитрида титана. Кроме большого количества мелких капелек α -фазы, четко видно, что пленка буквально изрыта кратерами и порами (рис. 5, а). В то же время поверхность пленки TiN, нанесенной на поверхность, которая бомбардировалась 5 минут, значительно чище (рис. 5, б).

При больших давлениях азота размер капелек меньше (рис. 6) за счет реагирования с ионами и возбужденными атомами азота за время пролета жидкой капли [2].

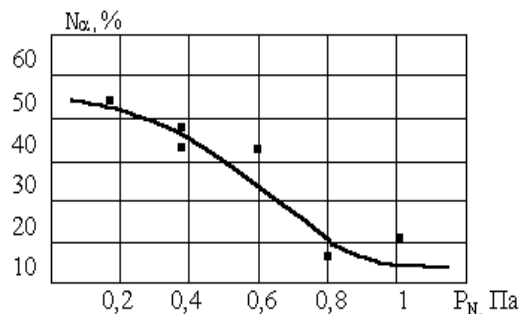


Рис. 6. Зависимость количества α -фазы N_α от давления азота P_N в камере

Сопоставляя различные режимы ионной бомбардировки и их влияние на качество наносимой на образцы пленки, следует сделать вывод, что ионную бомбардировку следует проводить 5-6 минут.

Выводы

На бомбардируемой ионным потоком поверхности, при чистке и нагреве образца, образуется тонкий, поддерживающийся в динамическом равновесии, слой, ухудшающий товарный вид поверхности и состоящий из Ti, TiC, TiO₂.

Налетающие ионы распыляют основной материал образца, находящийся под этим слоем.

Рациональное время ионной бомбардировки для образцов массой 50...60 г, составляет 4...6 мин, в зависимости от температуры, которую можно реализовать без существенного снижения характеристик.

Показана возможность реализации комбинированной обработки с использованием ионно-лучевой и плазменно-ионной обработки.

Библиографический список

1. Костюк Г.И. Физико-технические основы напыления покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированной технологии. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 1. Киев, Изд-во АИНУ, 2002. 587 с.

2. Костюк Г.И. Физико-технические основы напыления покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированной технологии. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и

оборудования. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 2. Киев, Изд-во АИНУ, 2002. 441 с.

3. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов/ ХГУ издательство объединения «Высшая школа» Харьков, 1987. 128 с.

4. Костюк Г.И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем. Справочник, Киев, Изд-во АИНУ, 2003. 414 с.

5. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. / М.: Машиностроение, 1986. 190 с.

6. Костюк Г.И. Физико-технические основы роботизированного производства // Национальный аэрокосмический университет "ХАИ", Харьков, 2006. 614 с.

7. Kostyuk G.I. The effective cutting tools having the coating and hardened layers, Monograph-reference book. National aerospace university named by N.E. Gukovsky «Kharkov aviation institute». 2007. 633 p.

8. Костюк Г.И. Основы создания современных технологий. // Национальный аэрокосмический университет "ХАИ", Харьков, 2008. 551 с.

9. Приборы и методы физического металловедения // Под ред. Ф. Вейнберга. Пер. с англ. М.: Мир, 1973. Вып. 1. 427 с.

10. Влияние фазового контакта на износостойкость ионно-плазменных покрытий из нитрида титана. / Г.С. Фукс-Рабинович, А.А. Кацура, Ф.С. Моисеев, Г.К. Досбаева. // Трение и износостойкость. – 1989. – Т. 10, № 4. С. 742-744.

Рецензент: д.т.н, профессор Арпентьев Б.М., Инженерно-педагогическая академия