

*Цю статтю я подала до журналу 28. 09. 2007 р., коли навіть гадки не мала, що стану об'єктом «наукових досягнень» проф. Глубіша П. А. А цикл його публікацій та листувань розпочався 5.02.2008 р. і на жаль триває досі. Я не в змозі відреагувати на всі шокуючі «відкриття» проф. Глубіша П. А., які на його погляд свідчать «про застійні явища у розвитку матеріалознавства» (с. 194). Мені залишається лише сподіватись, що це зроблять члени редколегії журналу «Вісник КНУТД», який є фаховим виданням.*

Надійшла 12.07.2010

УДК 677.027.16

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАНЕСЕННЯ МЕТАЛІЧНОГО ПОКРИТТЯ НА ТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ СПОСОБОМ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ВАКУУМНОГО НАПИЛЮВАННЯ

М.В. ІВАСЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

*В статті розглянуто процеси іонно-плазмового напилювання металів на текстильні матеріали. Визначено особливості технологічних режимів при напилюванні в вакуумних магнетронних установках.*

Основною задачею при розробці технологічних процесів вакуумних напилювань є визначення оптимальних умов (чистота вихідних матеріалів, тиск та склад залишкових газів, режими напилювання), що забезпечують отримання покриттів з достатніми функціональними характеристиками і експлуатаційною надійністю.

### **Об'єкти та методи дослідження**

Базуючись на результатах проведених експериментальних напилювань, а також робіт [1 – 3], встановлено, що найбільш технологічно доцільним серед вакуумних способів покриття на текстильні матеріали є способи нанесення в низькотемпературній газорозрядній плазмі, враховуючи наступні чинники: температура осаджуваних атомів близька до температури оточуючого середовища, можливість отримання плівок в широких межах товщин, висока адгезія покриття до підкладки, склад та властивості покриттів достатньо близькі до складу та властивостей вихідного металу.

Іонно-плазмові способи нанесення покриттів реалізуються з використання магнетронних установок, які дозволяють отримувати тонкодисперсні фази без кластерів, забезпечують гомогенність покриттів. Спосіб іонно-плазмового напилювання за допомогою магнетрону можна відносити до нанотехнологічного, так як при напилюванні отримуються наночастиці. Магнетрон дозволяє отримувати покриття з максимально високою адгезією.

### **Постановка завдання**

На основі відомих технологічних режимів для нетекстильних матеріалів та особливостей поведінки текстильних матеріалів у середовищі високого вакууму, стає можливим обґрунтування даної технології напилювання для текстильних матеріалів.

**Результати та їх обговорення**

Експериментальні зразки отримані з допомогою установки ВУ – 1100 «Д» (виробництво м. Сморгськ, Білорусь) (рис.1). Робоча камера в залежності від призначення отримуваного покриття може бути обладнана одним джерелом випаровування (лінійним, електродуговим, магнетронним, іонним) чи декількома у визначеній комбінації один з одним. На установці були отримані наступні зразки покриттів Ti (0,5-3 мкм), TiN – 2 мк, (TiN (75%) + Ti 25%) - 2 мкм, (TiN (75%) + Ti 25%) – багатошарові; основи: сірошинельне сукно (арт. 6425) та брезентова тканина (арт. 11293 )

Процес напилювання у вакуумній камері з магнетронною системою розпилювання відбувається за схемою (рис. 2).

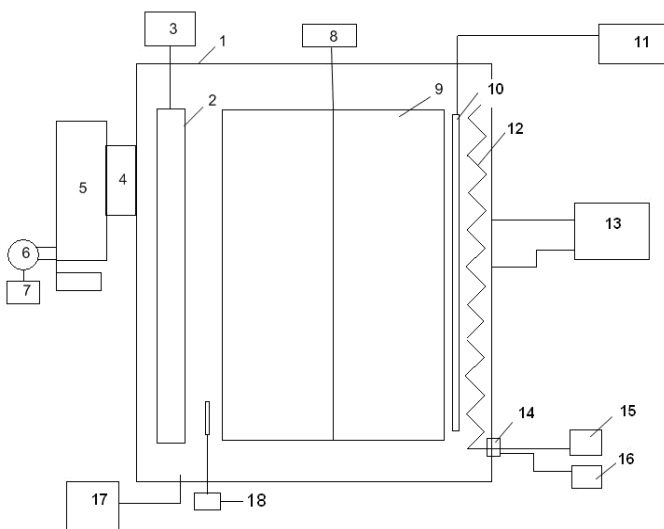


Рис. 1. Вакуумна установка ВУ – 1100 «Д»:

1 – камера вакуумна; 2 – випаровувач магнетронний; 3 – система керування випаровувачем; 4 – затвор високовакуумний; 5 – дифузійний високовакуумний насос Н - 400; 6 –насос НД - 500; 7 –насос АВЗ-20Д; 8 – система управління ротацією арматури; 9 – арматура для розташування матеріалу; 10 – електрод іонного очищення; 11 – система управління іонного очищення; 12 – резистивний нагрівач; 13 – система управління нагрівачем; 14 – вакуумні датчики; 15 – високовакуумний вакуумметр; 16 – низько вакуумний вакуумметр; 17 – система напускання газів; 18 – кварцовий вимірювач товщини (КИТ-1)

**ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ІОННО-ПЛАЗМОВОГО МАГНЕТРОННОГО НАПИЛЮВАННЯ**

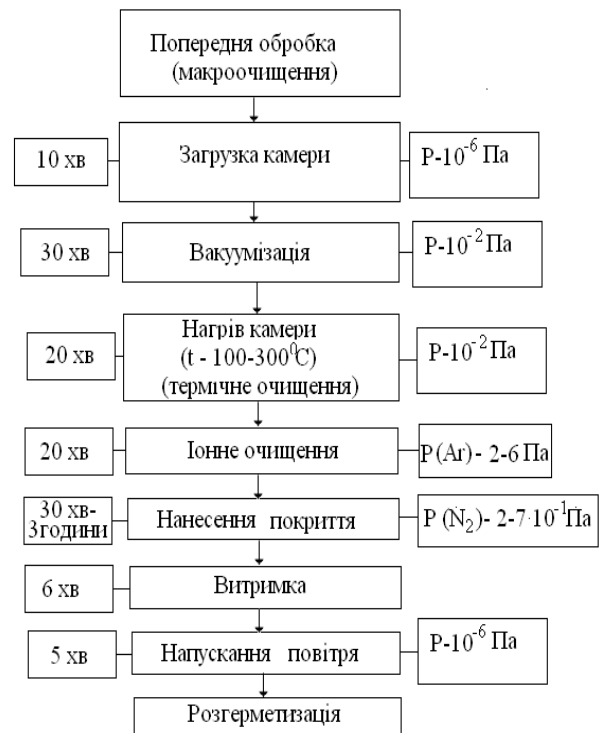


Рис. 2. Технологічна схема іонно-плазмовео магнетронного напилювання

Для отримання рівномірного покриття тканини розміщуються на підкладках карусельної установки з подвійним планетарним обертанням. Камеру відкачують до високого вакууму: спочатку механічним насосом (до  $P=133 \times 10^{-1}$  Па), потім дифузійним (до  $133 \times 10^{-5}$  Па).

При отриманні чистих металічних покриттів необхідна ретельна дегазація основ та попереднє їх випаровування, для зменшення парціального тиску активних залишкових газів, що знаходяться в їх складі:  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  та вуглеводні.

Причиною можливих забруднень осаджуваного покриття є газовиділення в процесі нагрівання та розпилювання вихідних напилюваних матеріалів.

Тому здійснюється очистка поверхні зразків тканин від сорбованих газів та вологи тліючим розрядом у середовищі залишкової атмосфери при напрузі на електроді тліючого розряду 2кV і струмі 250 мА. Повне видалення фізично-адсорбованих газів досягається нагріванням підкладок до температури не нижче 400-500 К в умовах високого вакууму. Очищення підкладки від хімічно адсорбованих газів та різних сполук виконується шляхом обробки її з допомогою низькотемпературної плазми під дією бомбардування іонами газів, хімічно інертних по відношенню до оброблюваного матеріалу (Ar).

Нанесення покриттів відбувається за допомогою вакуумно-дугового розряду, який запалюють між катодом і анодом у схрещених електричному і магнітному полях у розрідженій атмосфері (для отримання покриттів з TiN – в атмосфері азоту). Формують потік металевої плазми металу з такими технологічними параметрами: струм вакуумної дуги – 10–20А, тиск азоту в камері  $2 \cdot 10^{-1}$  Па, час нанесення покриття 1 мкм складає 1 год. (рис. 3.).

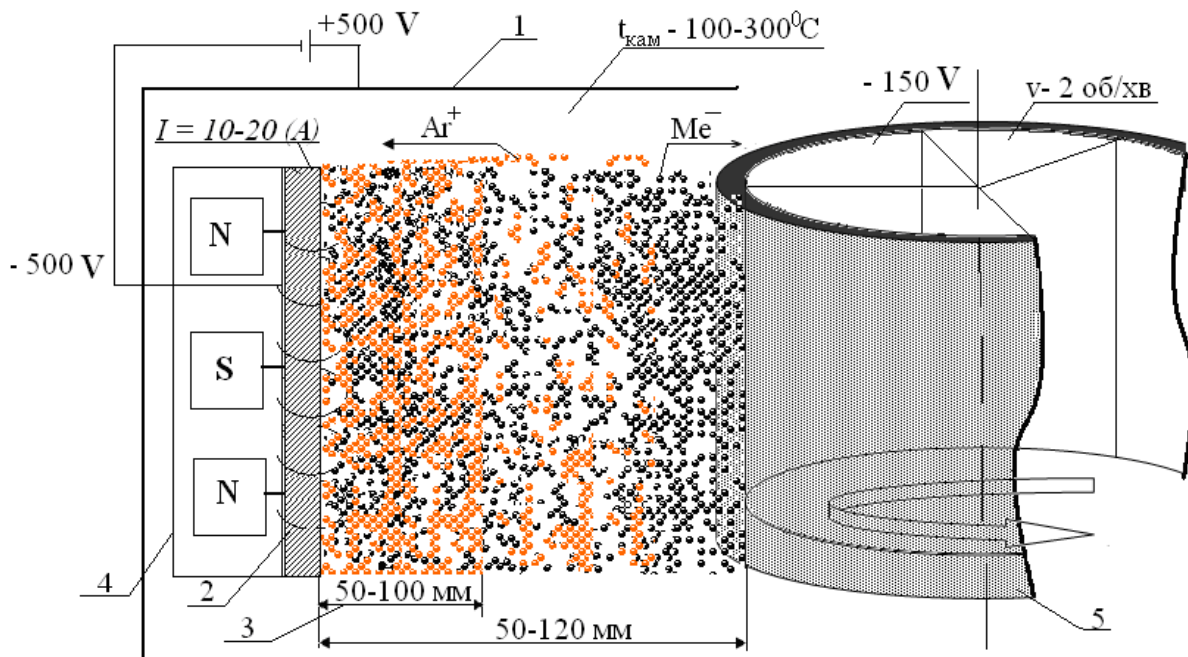


Рис. 3. Схема процесу напилювання магнетронною системою:

1 – анод (корпус камери), 2 – катод, 3 – зона аномально тліючого розряду, 4 – магнетрон,  
5 – напилювана поверхня

Процес осадження тонких плівок здійснюється в умовах низькотемпературної плазми, ініційованої електричним розрядом, що створюється в зоні робочого газу. Утворюваний самостійний розряд з холодним катодом, в якому катодне падіння потенціалу значно вище потенціалу іонізації, і емісія електронів обумовлена бомбардуванням позитивно зарядженими іонами та збудженими атомами називають тліючим розрядом. Температура електронів має величину порядку  $1 \text{ eV} = 11600 \text{ K}$ .

Бомбардування поверхні катоду прискореними іонами викликають не тільки її розпилювання, але і обумовлюють емісію електронів, необхідну для підтримки розряду. При іонній обробці з боку іонного потоку до поверхні катоду йде безперервне перенесення енергії, маси і заряду.

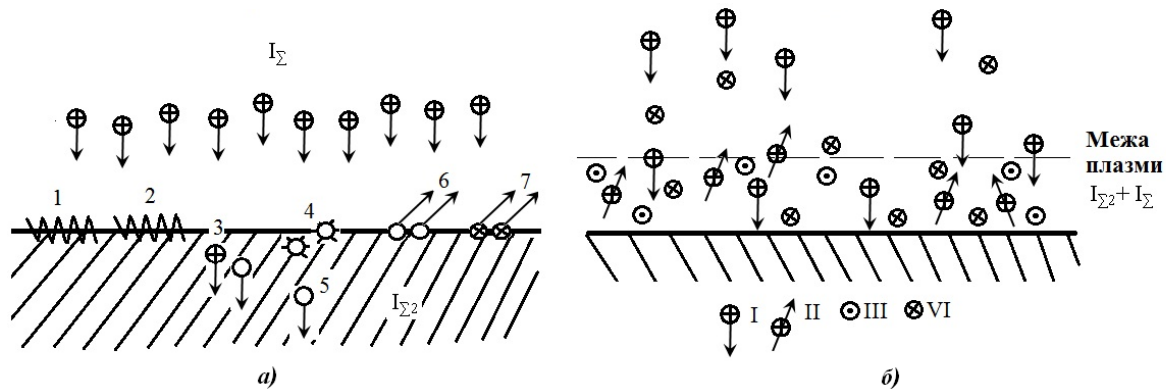


Рис. 4. Елементарні процеси при взаємодії іонного потоку з поверхнею катоду (мішені): а) на поверхні та в при поверхневій зоні; б) у поверхні; 1 – хімічні реакції, 2 – зміна топографії поверхні, 3 – сорбція атомів і іонів, 4 – дефектоутворення, 5 – імплантація, 6, 7 – десорбція розпилювання; I – первинні іони, II – вторинні іони, III – вторинні електрони, VI – розпилені часточки.

При взаємодії катоду та прискорених іонів з енергією, що перебільшує енергію розпилювання, на поверхні катоду відбувається ряд процесів пружної та непружної взаємодії. Обернений потік  $I_{\Sigma 2}$  виникає в результаті вторинних процесів, що виникають на поверхні катоду під дією прискорених іонів. Таким чином, інтенсивно протікають процеси електронно-іонної емісії, нейтралізація позитивно заряджених іонів при зштовхуванні з поверхнею твердого тіла та з утворенням електронів, виникнення від'ємно заряджених іонів при зштовхуванні позитивно заряджених іонів з поверхнею катоду та відбивання позитивно заряджених іонів. На потік часточок  $I_{\Sigma}$  впливають розпилені частинки з поверхні катоду. Внаслідок пружних та непружних взаємодій іону з енергією, що перевищує енергію розпилювання, відбувається розпилювання атомів мішені.

Особливу групу складають явища, пов'язані з проникненням бомбардуючих часточок в тіло мішені та їх міграцією в приповерхневому шарові, тобто процес сорбції. Траєкторія руху часточок в твердому тілі визначається структурними властивостями поверхні, кристалічною будовою мішені, міжатомними потенціалами та умовами падіння іонів на поверхню. Одночасно з процесами сорбції часточок відбуваються процеси їх дифузії та міграції, що призводить до десорбції часточок, що впровадились. Десорбція протікає більш інтенсивно при підвищених температурах мішені [4].

Характеристикою процесу іонного розпилювання, є коефіцієнт розпилювання який визначається кількістю атомів, вибитих з поверхні, що бомбардується падаючим іоном. Розпилювання викликається, в основному, передачею імпульсу енергії від бомбардуючої частинки (робочого газу) атомам кристалічної решітки катоду в результаті ряду послідовних зштовхувань. Передача кількості руху від падаючих іонів відбувається в перших атомних шарах решітки. Розпилення супроводжується емісією вторинних електронів, які прискорюються в електричному полі, та викликають додаткову іонізацію.

Коефіцієнт розпилення ( $\gamma$ ) визначається енергією та напрямком падіння іону, природою взаємодіючих матеріалів, кристалографічною структурою та атомною будовою поверхні, що бомбардується. Для Ti при дії Ar  $\gamma = 1,13$  кеВ.

При іонному розпилюванні характерні деякі закономірності:

– кількість атомів, що виривається з катоду в одиницю часу (тобто швидкість розпилювання) прямопропорційна кількості та енергії позитивно заряджених іонів, що бомбардують катод; – швидкість розпилювання підвищується з ростом температури катоду та робочого газу, зі зростанням кута падіння іонів та атомної маси робочого газу; – розпилені атоми залишають катод зі швидкостями близькими до теплових, відповідних точці плавлення матеріалу катоду; швидкість розпилення атомів зростає зі збільшенням енергій (прискорюючої напруги) позитивно заряджених іонів; Тиск в камері при подаванні газу азоту – збільшується, а при напилюванні чистого титану тиск значно зменшується відносно технічного вакууму, тому що Ti – гетерний метал, він має можливість приймати на себе молекули залишкового повітря. Краплі, що видаляються катодом, додатково нагріваються за рахунок бомбардування їх поверхонь та, випаровуючись, виступають основним джерелом нейтрального пару в об'ємі розрядного проміжку. При іонній металізації на поверхні покриття та в його приповерхневому шарові протікає ряд процесів, які визначають якість отримуваних покриттів, їх стехіометричний склад та швидкість нанесення, а також якість отримуваних макроstruktur в цілому.

В залежності від виду покриття та способу його нанесення процес може здійснюватись у вакуумі та в робочому газі (аргоні, азоті, кисні). З метою забезпечення оптимальних умов протікання реакцій напускання газів виконують безпосередньо в зону осадження. Цим виключається утворення сполук на поверхні розпилюваного металу, знижується робочий тиск в камері.

Якщо довжина вільного пробігу більша відстані від підкладки до випарника, то зштовхування в робочому просторі не відбуваються, атоми і молекули зштовхуються з поверхнею підкладки, адсорбуються та вступають в реакцію, утворюючи покриття із сполук. Підвищення тиску в камері та, відповідно, зниження довжини вільного пробігу обумовлює можливість зштовхувань в просторі і таким чином виникнення сполук в парогазовій фазі. Зштовхування між реагуючими частинами не завжди супроводжується утворенням між ними хімічної реакції. Підкладка, що зазвичай знаходиться під потенціалом аноду, та утворюване покриття постійно підлягають складній неконтрольованій обробці енергетичними частинками. Після завершення процесу напилювання в камеру закачується повітря, потім камеру можна відкривати.

### **Висновки**

В процесі напилювання обраних матеріалів основи встановлено, що режимні та технологічні параметри установки ВУ-1100 «Д» забезпечують невисоку температуру основи (підкладки) (за рахунок використання аномального тліючого розряду, що іонізує простір камери), на яку виконується напилювання, у відповідності до термостійких властивостей тканини, що обумовлює майже повну відсутність деструкції волокон матеріалів, яка є неминучою при інших способах вакуумної металізації.

Для досліджуваних матеріалів було підібрано мінімальну допустиму температуру в камері напилювання, при якій можливо проводити іонно-плазмове вакуумне напилювання, що забезпечило температуру підкладки не більше 100 °С. При цій граничній температурі не відбувається теплової деструкції обраних матеріалів, та можливо проводити напилювання. Відповідно до цього було визначено

швидкість обертання каруселі, на якій закріплюється пікладка (2 об/хв). Технічні параметри даної установки дозволяють проводити напилювання на достатньо великих розмірах зразків (до 4 м<sup>2</sup>). Одержані результати довели можливість використання магнетронних установок для отримання текстильних матеріалів з металічними покриттями.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Горберг Б. Л. Перспективы использования метода магнетронного распыления для изготовления текстильных материалов со специальными поверхностными свойствами / Б. Л. Горберг, А. А. Иванов, В. А. Стегнин // Рынок легкой промышленности. – 2007. – № 48. – с. 12-15.
2. Яковчук К. Ю. Осаждение покрытий, содержащих тугоплавкие элементы, электронно-лучевым испарением способом «вспышки» / К. Ю. Яковчук, В. В. Скрябинский, Л. А. Крушинская // Современная электротехнология. – 2006. – № 1. – с. 9 – 13.
3. Мовчан Б. А. Электронно-лучевые установки для испарения и осаждения неорганических материалов и покрытий / Б. А. Мовчан, К. Ю. Яковчук // Современная электротехнология. – 2004. – № 2. – с. 10 – 15.
4. Никитин М.М. Технология и оборудование вакуумного напиления/ М.М. Никитин. – М., 1972. –112 с.

Надійшла 15.06.2010

УДК 687.016:687.021

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛЕКАЛА РУКАВА У ДОСЛІДЖЕННІ  
ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВУЗЛА РУКАВ–ПРОЙМА**

О.І. ВОДЗІНСЬКА, О.В. КАРДАШ

Київський національний університет технологій та дизайну

Н.М. АУШЕВА, О.В. ВЛАДІМІРОВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*Розроблено програмний комплекс, що дозволяє виконати побудову лекала рукава, заданого дискретним каркасом точок. Інтерполяція контуру окату відбувається кривими третього порядку за методом Катмалла–Рома. Програма дозволяє здійснити прогноз якості операції спрасування посадки окату рукава на етапі проектування його конструкції за допомогою вибраного критерію – коефіцієнта деформування матеріалу з врахуванням гіротермічної обробки*

Вузол рукав–пройма за складністю обробки є одним із найскладніших вузлів швейного виробу верхнього асортименту. Від якості його виготовлення залежить якість та сприйняття готового виробу в цілому. Тому задача проектування конструкції, що забезпечувала б якісне виготовлення вузла із врахуванням технологічних властивостей матеріалів, є актуальною.

**Об'єкти та методи дослідження**

Першими роботами, де розглянуто інженерні методи проектування конструкції деталей швейних виробів, були праці М.І. Сухарева та А.М. Бойцовой [1].

Авторами встановлені ступені спрасування та розтяжності тканин під різними кутами нахилу до ниток основи у відсотках для різних видів матеріалів, тобто відносні величини деформації.