

Винахід належить до галузі нанесення покриттів у вакуумі та може бути використаний для контролю температури поверхні оброблюваних виробів для отримання високоякісних тонких плівок та покриттів різного функціонального призначення у машинобудуванні, мікроелектроніці та інших галузях науки і техніки.

Відомий спосіб вимірювання температури підкладок за допомогою платиногового резистивного датчика, описаний у роботі (Е Берлин, Л. Сейдман. Напылительные установки для нанесения многослойных покрытий // Электроника: Наука, Технология, Бизнес 2/2006, с. 88-91), який забезпечує вимір температури з точністю $\pm 5\%$. Цей спосіб належить до контактних методів вимірювання температури, тому його дуже важко застосовувати в процесах отримання покриттів на виробках, які перемішуються.

Відомий спосіб вимірювання температури оброблюваних виробів в іонно-плазмових процесах отримання покриттів термоелектричним методом (за допомогою термопар), описаний в (Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю. Н. Внуков, А. А. Марков, Л. В. Лаврова, Н. Ю. Бердышев. - К.: Техника, 1992. - 143 с). Цей спосіб дозволяє вимірювати контактним методом досить точно температуру поверхні виробу в одній точці. Для збільшення продуктивності іонно-плазмових установок на тримач підкладки зазвичай встановлюють декілька виробів і організують їх обертання. Це дуже ускладнює вимірювання температури термопарою, оскільки в цьому разі необхідно застосування спеціальних пристроїв, в яких необхідно мати струмознімачі та засоби розв'язки за високою напругою. Тому у серійних вакуумно-дугових установках (типу Булат, ННВ та інших) цей метод не отримав поширення.

Відомий спосіб вимірювання температури оброблюваних виробів в іонно-плазмових процесах отримання покриттів пірометричним методом, описаний у роботах (Ю. Н. Внуков, А. А. Марков, Л. В. Лаврова, Н. Ю. Бердышев. - К.: Техника, 1992. - 143 с, та Лавро В. Н. Разработка метода измерения температуры изделия на установках вакуумно-плазменного нанесения покрытий // Современные материалы, техника и технологии. - 2017, №6 (14), с. 42-49). Цей метод вимірювання є безконтактним і він не має недоліків, властивих термоелектричному методу вимірювання температури. Тому його було застосоване у однієї з найпоширенішої серії установок для отримання покриттів - "Булат-6" (див. В. М. Шулаев, А. А. Андреев, В. П. Руденко. Модернизация вакуумно-дуговых установок для синтеза покрытий и азотирования методом ионной имплантации и осаждения // ФШ ФИП PSE, 2006, т. 4, № 3-4, с. 135-142).

Водночас такий метод має і суттєві недоліки, які полягають у запиленні вхідного вікна оптичної системи пірометра частинками матеріалу катода, що потребує періодичного його очищення, а також наявності світіння (випромінювання) плазми у робочому об'ємі. Ці недоліки призводять до суттєвих похибок у вимірюванні температури.

Відомий спосіб захисту від запилення продуктами ерозії катода вихідного вікна оптичної системи лазера, описаний в роботі (Laser-arc: A new method for preparation of diamond-like carbon films / H.-J. Scheibe, P. Siemroth, W. Pompe and B. Schoeneich // Surface and Coatings Technology, 47 (1991), p.455-464), який полягає у застосуванні екрана з прозорого полімерного матеріалу перед вікном введення випромінювання лазера у вакуумну камеру і призначення якого - перешкоджати попаданню продуктів ерозії катода на вікно введення. Цей екран під час роботи джерела рухається перед вікном введення, безперервно оновлюючи прозорість оптичної системи.

Однак здійснення переміщення у вакуумі є досить складним завданням, до того ж, після повного запилення екрана необхідний його демонтаж та заміна на новий, прозорий.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, за технічною суттю є спосіб вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів, застосований у лабораторному технологічному комплексі ВНУК-6, описаний у Керівництві користувача цього комплексу (див. ЛАБОРАТОРНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ВНУК-6. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ // ООО "Прикладная электроника", Томск, 46 с. Доступ - <http://apelvac.com/i/content/19/61/doc/61.pdf>). Лабораторний технологічний комплекс ВНУК-6 призначений для осадження тонких плівок на підкладках за допомогою різних типів джерел плазми для створення пристроїв, основаних на технології МЕМС. Вимірювання температури підкладок в комплексі виконується пірометричним способом, для чого у дверці вакуумної камери (рис. 4 у Керівництві користувача) зроблено вікно для пірометра, яке захищено екраном (пункт 6.2.5 у Керівництві користувача), який має два крайні положення - "відкрито" і "закрито". Таке технічне рішення дозволяє у процесі отримання плівок на підкладках здійснювати вимірювання температури оброблених виробів (підкладок) при відкритому екрані і запобігати запиленню вікна виводу інфрачервоного випромінювання оброблюваних виробів при закритому.

Водночас способу прототипу притаманний ряд істотних недоліків, що полягають у наступному.

По-перше. При реалізації процесу осадження покриттів на поверхні виробів в способі-прототипі в робочому об'ємі вакуумної камери створюється плазма, з частинок якої конденсуються покриття. Для керування параметрами нанесення покриттів здійснюється вимірювання температури поверхні оброблюваних виробів шляхом спочатку відкриття, а після вимірювання температури (час виміру

температури сучасними пірометрами зазвичай декілька десятків мілісекунд), закриття шторки-екрана вікна виводу інфрачервоного випромінювання від оброблюваної поверхні виробу на вимірювальний пристрій пірометра. Однак час відкриття-закриття шторки-екрана у пристрої, що реалізує цей спосіб, є досить великим (30 секунд, див. пункт 6.2.5 у Керівництві користувача), що призводить до запилення вікна виводу інфрачервоного випромінювання на вимірювальний пристрій пірометра частинками плазми кожен раз під час вимірювання температури поверхні виробів для контролю за процесом осадження і регулювання його параметрів. Це, в свою чергу, призводить до різниці між дійсною температурою поверхні виробів і значенням, яке показує пірометр (значення температури, вимірюваної пірометром, буде менше дійсної за рахунок затримки частини теплового випромінювання плівкою, що сформувалось на поверхні вікна виводу випромінювання). В загальному випадку, чим частіше при осадженні покриттів виконується вимірювання температури поверхні виробів, тим здійснюється більш якісний контроль за температурою і, як результат, маємо більш якісне оброблення поверхні (вищу адгезію покриття до основи, більш однорідну структуру покриття тощо). В способі-прототипі, чим частіше виконується вимірювання температури (тобто частіше відкривається шторка-екран), тим більше буде запилення вікна виводу випромінювання від поверхні виробу (товстіша плівка на ньому) і тим більшою буде різниця між дійсною температурою і значенням температури, яку показує пірометр. Це явище заважає отриманню високоякісних покриттів на поверхні оброблюваних виробів, оскільки знижує точність вимірювання температури поверхні оброблюваних виробів.

По-друге, на точність вимірювання температури поверхні виробів в способі прототипу впливає також випромінювання плазми, яка створюється в робочому об'ємі установки, і випромінювання якої потрапляє на вхід вимірювального пристрою пірометра. Ця обставина теж знижує точність вимірювання температури поверхні оброблюваних виробів, і також заважає отриманню високоякісних покриттів на поверхні оброблюваних виробів.

По-третє, у способі-прототипі не обумовлено саме процес вимірювання поверхні оброблюваних виробів. На тримачі підкладки в установці ВНУК-6 можна розмішувати до 10 виробів, які завдяки застосуванню планетарного механізму (маніпулятора) постійно переміщуються відносно осі тримача підкладки і одночасно навколо власної осі. Відсутність регламентації, як правильно здійснювати вимір температури виробів, які постійно обертаються, знаходяться на відстані приблизно 500 мм від вимірювального датчика пірометра, може призводити до суттєвих помилок при вимірюванні температури у різних виробках, розташованих на тримачі підкладки.

Таким чином, із розглянутих вище особливостей роботи способу-прототипу видно, що йому притаманні суттєві недоліки, які призводять до неможливості точного вимірювання температури поверхні оброблюваних виробів, що знижує якість отриманих покриттів.

Технічною задачею запропонованого винаходу є створення способу вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів, що характеризується високою точністю вимірювання температури поверхні виробів.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у способі вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів, який полягає в захисті вхідного вікна оптичної системи пірометра від конденсації на ньому частинок матеріалу покриття використанням екрана, що відкривають на час вимірювання температури і закривають після вимірювання, який, відповідно до винаходу, відрізняється тим, що екран для вимірювання температури відкривають після припинення процесу генерації частинок покриття з затримкою, яка забезпечує повну конденсацію частинок пари металу, присутніх в об'ємі вакуумної камери у момент припинення процесу генерації частинок.

Поставлена задача вирішується також за рахунок того, що вимірювання температури здійснюють при знаходженні оброблювального виробу у точці вимірювання температури при зупиненому переміщенні оброблювальних виробів у вакуумній камері.

Розглянемо детально причинно-наслідковий зв'язок між істотними відмінними ознаками запропонованого способу вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів і технічним результатом, що досягається.

1. «...Відкриття екрана для вимірювання температури здійснюють після припинення процесу генерації частинок покриття з затримкою, яка забезпечує повну конденсацію частинок пари металу, присутніх в об'ємі вакуумної камери у момент припинення процесу генерації частинок ...».

Такі дії у запропонованому способі повністю забезпечують відсутність запилення вхідного вікна вимірювального пристрою пірометра під час вимірювання температури поверхні виробів завдяки наступним обставинам. Так, припинення процесу генерації частинок покриття (наприклад у пристрої, в якому реалізовано спосіб-прототип, це може здійснюватися припиненням роботи джерел, що генерують частинки покриття: джерела іонів, плазмотрону, магнетрону). Після припинення генерації частинок покриття (припиненням розряду, в якому вони виникають), вони вже не будуть поступати у вакуумну камеру, але потрібен деякий час (час затримки), щоб ті частинки, що були у момент припинення роботи їх джерел у обсязі вакуумної камери, сконденсувались на поверхнях конструкцій всередині вакуумної камери. Час затримки визначається швидкістю відновлення електричної міцності вакууму після припинення розряду (тобто часом деіонізації плазми і осадженні її частинок на

елементах конструкцій у вакуумній камері), який зазвичай не перевищує декілька десятків мікросекунд (див. Фарелл, Дж. Явления вблизи нуля тока / Дж. Фарелл // Вакуумные дуги: пер. с англ. / Дж. Кобайн, Г. Эккер, Дж. Фарелл, А. Гринвуд, Л. Харрис; под ред. Дж. Лафферти. -М.: Мир, 1982. - С. 224-268).

Здійснення такої затримки гарантовано забезпечує відсутність небажаного запилення вхідного вікна оптичної системи пірометра, тим самим забезпечуючи високу точність вимірювання температури поверхні виробів, що, в свою чергу, дозволяє отримувати високоякісні покриття.

Позитивним результатом такого рішення є також те, що вимірювання температури поверхні оброблюваних виробів виконується при відсутності плазми у робочому обсязі вакуумної камери (джерела частинок покриття вимкнені), відсутність випромінювання якої в цьому разі додатково підвищує точність вимірювання температури поверхні оброблюваних виробів запропонованим способом.

2. «...Процес вимірювання температури здійснюють при знаходженні оброблювального виробу у точці вимірювання температури при зупиненому переміщенні оброблювальних виробів у вакуумній камері».

Найбільш точно вимірювання температури пірометром здійснюється, коли його вимірювальне коло мінімум в два рази менше ніж вимірювальний об'єкт (див. Особливості вимірювання температури пірометрами / Укладачі: В.О. Виноградов-Салтиков, О.І. Єщенко, Д.В. Бірюков // Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022, с 17). В загальному випадку виконати цю вимогу при постійному обертанні оброблюваних виробів у вакуумній камері можливо тільки при знаходженні оброблюваного виробу, температуру поверхні якого вимірюють, у точці вимірювання температури при зупиненому переміщенні оброблювальних виробів у вакуумній камері.

Точка вимірювання температури - це точка знаходження оброблюваного виробу, в якій забезпечується вимога, коли вимірювальне коло пірометра на поверхні виробу щонайменше в два рази менше, ніж вимірювальний об'єкт (виріб). Наприклад, при нанесенні зміцнюючого покриття на свердла діаметром 6 мм і вимірюванні їх температури, потрібно, щоб вимірювальне коло пірометра на поверхні свердла було не більш 3 мм. Для забезпечення цього треба застосувати пірометр, який дозволяє забезпечити необхідний діаметр вимірювального кола на заданій відстані між ним і поверхнею виробу (наприклад, для випадку оброблення свердл діаметром 6 мм можна використовувати пірометр OPTRIS CTlaser LT, який забезпечує вимірювальне коло діаметром 1,9 мм на відстані 150 мм, (див. Миниатюрный инфракрасный термометр OPTRIS CTlaser LT / Доступ: https://tovsvs.com.ua/image/catalog/doc/temperatura-i-teplofizicheskie-izmereniya/pirometry-stacionarnyye/optris_ctlaserlt_svs.pdf).

Оброблювані вироби у вакуумній камері зазвичай обертаються як навколо своєї осі, так і навколо осі тримача підкладки за допомогою планетарного механізму, на який вони встановлені. Швидкість цього обертання, наприклад в установках "Булат", становить 8 об/хв.(див. В. М. Шулаев, А. А. Андреев, В. П. Руденко. Модернизация вакуумно-дуговых установок для синтеза покрытий и азотирования методом ионной имплантации и осаждения // ФІП ФІП PSE, 2006, т. 4, № 3-4, с. 135-142), При такий швидкості обертання лінійна швидкість виробів на радіусі 200 мм (на якому можуть бути встановлені вироби) становить приблизно 167 мм/с. За цей час при вимірюванні температури (час вимірювання температури швидкодіючим пірометром OPTRIS CTlaser LT становить 9 мс, а зазвичай - декілька десятків мілісекунд) виріб, на якому здійснюється вимірювання температури поверхні, переміститься на відстань порядку декілька міліметрів (при часі вимірювання температури 9 мс близько 1,6 мм). Таке переміщення в випадку оброблення виробів невеликих діаметрів буде призводити до переміщення вимірювального кола пірометра по поверхні виробу навіть до його виходу з поверхні виробу, що призведе до значних помилок при вимірюванні температури. Для запобігання таким помилкам треба вимірювання температури поверхні виробу здійснювати у точці вимірювання температури при зупиненому переміщенні оброблювальних виробів у вакуумній камері. Тим паче, що застосування планетарного механізму дозволяє після кожного оберту тримача підкладки мати положення оброблюваного виробу таке ж саме, як і початкове (тобто виріб, початково розміщений в точці вимірювання, після кожного обертання тримача підкладки, буде встановлюватись в те ж саме положення), що дозволяє вимірювати температуру однієї і тієї ж зони поверхні виробу. Така обставина буде позитивно впливати на точність вимірювання температури виробів.

Таким чином, розглянуті суттєві відмінні ознаки запропонованого способу вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів в своїй сукупності дозволяють досягти наступного технічного результату - забезпечити високу точність вимірювання температури поверхні оброблюваних виробів, що призводить до підвищення якості отриманих покриттів, і в результаті - до підвищення експлуатаційних характеристик оброблених виробів.

На фіг. 1 схематично зображено пристрій для вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів запропонованим способом у вакуумно-дуговій установці.

На фіг. 2 зображено місце розташування вимірювального кола пірометра на поверхні оброблюваного виробу при його знаходженні в точці вимірювання температури (вигляд А).

Спосіб вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів здійснювали за допомогою пристрою, схематично представленого на фіг. 1. Пристрій містить пірометр

1, на вимірювальний датчик якого інфрачервоне випромінювання 2 від поверхні одного з оброблюваних виробів 3 потрапляє через вікно 4, яке захищене заслінкою-екраном 5, керованою електромагнітом 6 за допомогою тяги 7. Керує роботою електромагніту 6 система керування 8, яка також керує роботою системи вмикання-гасіння вакуумної дуги 9 і контролером 10 крокового приводу 11. Система вмикання-гасіння вакуумної дуги 9 вмикає джерело живлення 12 для здійснення процесу осадження покриттів і вмикає його у потрібний час, що зокрема забезпечує гасіння вакуумно-дугового розряду в джерелі плазми 13 безпосередньо перед процесом вимірювання температури поверхні оброблюваного виробу 3 для зупинки створення частинок плазмового потоку 14 і потрапляння їх у вакуумну камеру 15. Кроковий привід 11 забезпечує обертання планетарного механізму 16, з яким механічно зв'язаний тримач підкладки 17 з закріпленими на ньому виробами 3. Для забезпечення процесу отримання покриттів вакуумна камера 15 має систему відкачування 18, а на оброблювані вироби 3 подається необхідна напруга від джерела живлення 19.

Спосіб вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів здійснюють за допомогою пристрою, зображеного на фіг. 1 наступним чином.

Підготовлені до нанесення покриття вироби 3 (в нашому випадку покриття наносились на свердла зі швидкорізальної сталі Р6М5 діаметром 8 мм) розміщують на тримачі підкладки 17 у вакуумній камері 15. Після цього виставляють точку вимірювання температури 20 на одному з оброблюваних виробів, вибраного як зразок для контролю температури його поверхні (була забезпечена відстань 150 мм між датчиком застосованого пірометра OPTRIS CTlaser LT(CF2) і точкою вимірювання температури, при котрій зона вимірювання температури становить 1,9 мм). Оскільки оброблювані вироби однакові і знаходяться в рівних умовах, то температура поверхні на кожному з них в одній і тій же точці буде однакою. Встановлення точки вимірювання температури 20 (фіг. 2) при відкритій заслінці-екрані 5 на одному з оброблюваних виробів здійснюється (при включеному двопроменевому лазерному покажчику пірометра) його переміщенням навколо осі тримача підкладки за допомогою крокового приводу 11, керованого контролером 10, який має режим покрокового управління кроковим приводом і наступного обертання виробу навколо своєї осі. Після встановлення точки вимірювання цей виріб-зразок фіксується у тримачі підкладки, а заслінка-екран 5 закривається. Належне положення точки вимірювання температури на поверхні виробу-зразка 20 зображено на фіг. 2. Використання планетарного механізму 17 забезпечує після кожного одиничного оберту тримача підкладки 16 за сигналом з системи керування 8 розміщення виробу-зразка 3 точно у точці вимірювання температури.

Наступним кроком при отриманні покриттів на виробах є відкачування вакуумної камери 15 до робочого тиску за допомогою системи відкачування 18. Після досягнення необхідного тиску (зазвичай $(1-5) \cdot 10^{-3}$ Па) здійснюють нанесення покриття на вироби 3, яке виконують у два етапи.

На першому етапі здійснюють іонне очищення поверхні виробів при подачі високої напруги на оброблювані вироби (1200 В), при працюючому джерелі плазми 13 (застосовувалось штатне джерело плазми установки "Булат-6" з катодом із титану марки ВТ-1-1) і переміщенні виробів 3, розташованих на тримачі підкладки за допомогою крокового приводу 11. На етапі іонного очищення забезпечується очищення поверхні виробів і їх нагрівання до необхідної температури. Таке нагрівання є позитивним явищем, тому що воно забезпечує високу адгезію покриття до основи, але температура поверхні виробів не повинна перевищувати температуру розміщення (відпуски) основи виробу (для швидкорізальної сталі Р6М5 це 500 °С), оскільки в іншому випадку оброблювані вироби будуть мати низький ресурс роботи.

Контроль температури виробів на цьому етапі обробки здійснювали через кожні 15 секунд пірометром 1, який передавав значення температури у систему керування 8, наступним чином. Після подачі напруги на тримач підкладки 17 з оброблюваними виробами 3 і одночасного вмикання джерела плазми 13 і крокового приводу 11 системою керування 8, вона видавала послідовно два імпульси на контролер 10 крокового приводу 11. На кожний імпульс керування контролер 10 забезпечував роботу крокового приводу 11 протягом часу, коли здійснювалось точно одне обертання тримача підкладки. Швидкість обертання тримача підкладки становила 8 об/хв, тобто за два обертання минав час 15 секунд, після чого обертання тримача підкладки зупинялось, при цьому виріб-зразок опинявся у точці вимірювання температури 20 (фіг. 2). Далі виконувалось вимірювання температури поверхні виробів, для цього за командами системи керування 8 здійснювались такі дії. Системою вмикання-гасіння вакуумної дуги 9 припинявся вакуумно-дуговий розряд в джерелі плазми 13. Після припинення процесу генерації частинок покриття джерелом плазми 13 з затримкою 10 мс (для гарантованої відсутності в вакуумній камері частинок, які могли б потрапити на вікно 4) здійснювали відкриття заслінки-екрана 5 подачею імпульсу напруги від системи керування 8 на електромагніт 6 і проводили вимірювання температури поверхні виробу. Загальний час вимірювання температури після зупинки тримача підкладки становив 93 мс (10 мс - затримка відкриття заслінки-екрана 5; 37 мс - час відкриття заслінки-екрана 5, 9 мс - час вимірювання температури пірометром 1 (застосовувався пірометр OPTRIS CTlaser LT(CF2) з точністю вимірювання $\pm 1,5$ °С); 37 мс - час закриття заслінки-екрана 5). Після кожного вимірювання температури робилась пауза 5 секунд для поширення тепла вглиб тіла виробів. Після цього продовжувався процес іонного очищення, для відновлення якого одночасно за

командами від системи керування 8 вмикалось в роботу джерело плазми 13 і кроковий привід 11 тримача підкладки 17.

Таким чином в процесі іонного очищення йшов постійний контроль температури поверхні оброблюваних виробів пірометром 1, який тривав до часу, коли температура поверхні виробів не досягала 490 °С (в нашому випадку це відбувалося через 2,5 хвилини іонного очищення виробів). Це свідчило про те, що вироби підготовлені до нанесення покриття, тому здійснювався перехід на другий етап - етап нанесення покриттів на вироби 3 наступним чином.

При працюючому джерелі плазми 13 і тримачі підкладки 17, що обертався, система керування 8 знижувала напругу від джерела живлення 19, яка подається на вироби 3, до рівня 150 В, вмикалась система газонапуску (на фіг. 1 не зображено) і в вакуумну камеру подавався азот (реакційний газ), збільшуючи тиск в камері до рівня 10^{-1} Па і здійснювалось осадження покриттів.

В процесі нанесення покриттів на вироби 3 здійснювався контроль за температурою поверхні оброблюваних виробів 3 таким самим чином, як і в режимі іонного очищення, але контроль температури виробів 3 на цьому етапі обробки здійснювали через кожні 30 секунд. Якщо при якомусь вимірі температура поверхні виробу-зразка була менше 490 °С, то система керування 8 подавала сигнал на джерело живлення 19 і напруга, що подавалась на вироби, підвищувалась на 20 В (тим самим забезпечувалось підвищення температури виробів 3), а якщо температура була вище 490 °С, то напруга знижувалась на 20 В, (тим самим забезпечувалось зменшення температури виробів 3). Такі дії забезпечували найбільш сприятливий режим для отримання якісних покриттів на виробах 3. Час отримання покриттів в нашому випадку становив 20 хвилин, що забезпечило їх товщину 3 мкм.

Виконані випробування 4-х партій по 8 штук у партії оброблюваних свердл зі швидкорізальної сталі Р6М5 діаметром 8 мм, покриття з нітриду титану, на яких було отримане з застосуванням запропонованого способу вимірювання температури поверхні виробів у вакуумних процесах нанесення покриттів. Результати цих випробувань показали, що вони мають стійкість до зносу в 2,7 рази більшу в порівнянні з такими ж свердлами, покритими нітридом титану за традиційною технологією при обробці сталі 45. Підвищення функціональних характеристик оброблюваних виробів свідчить про те, що застосування запропонованого способу, тобто постійний контроль температурного режиму виробів під час нанесення покриттів і змінення параметрів технологічного процесу отримання покриттів за результатами цього моніторингу температури дозволяє підвищити якість покриттів, отриманих вакуумно-дуговим методом. При випробуваннях завдяки відкриттю заслінки-екрана для здійснення вимірювання температури поверхні виробу з затримкою після припинення процесу генерації частинок покриття, яка забезпечувала відсутність частинок пари металу в об'ємі вакуумної камери в момент вимірювання, повністю було відсутнє запилення вхідного вікна оптичної системи пірометра.

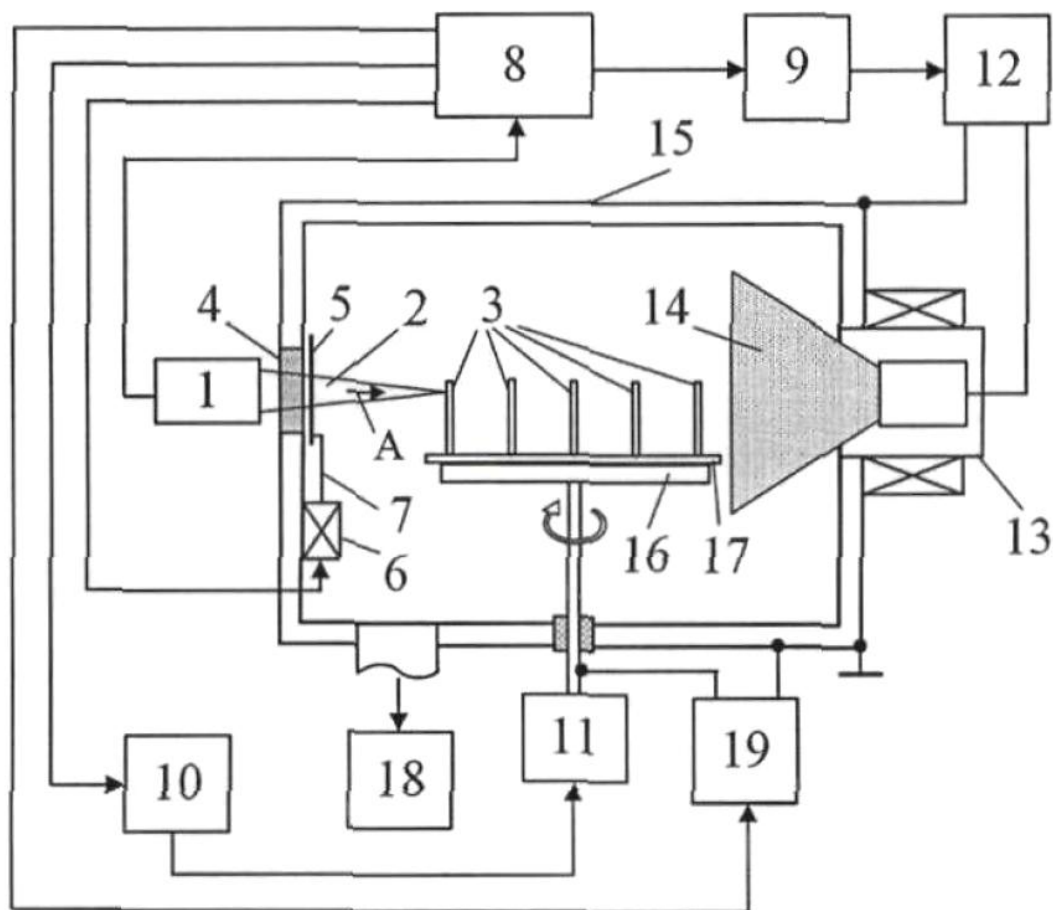
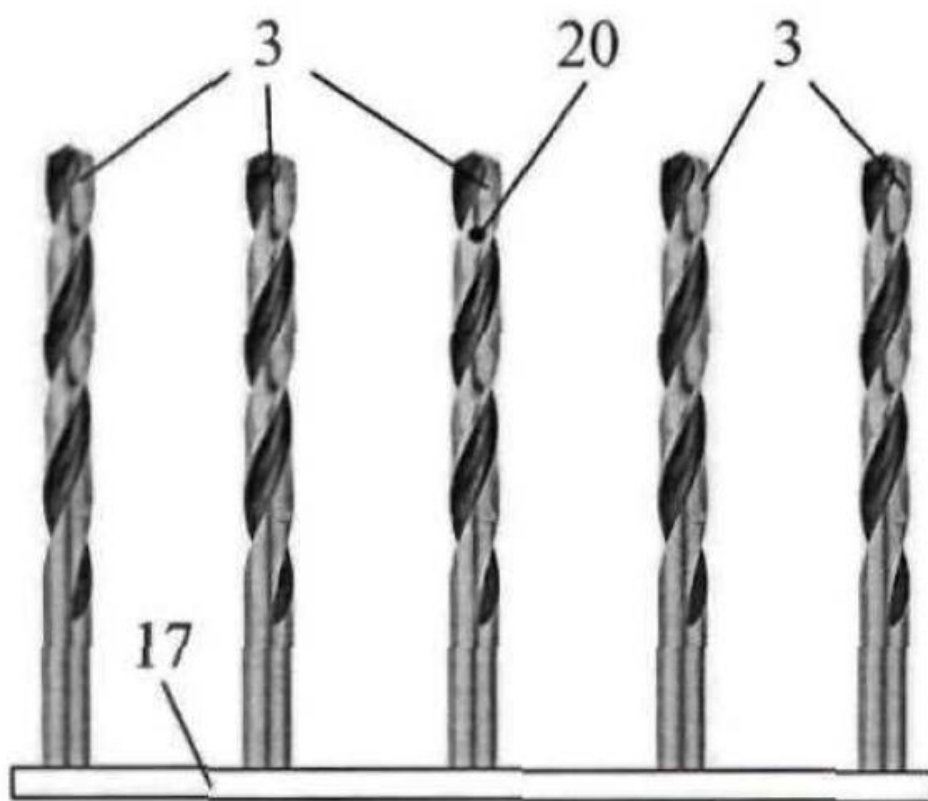


Fig. 1

Від А



Фиг. 2