

АНОТАЦІЯ

Кіркопуло К.Г. Автоматизація процесів керування установкою іонно-плазмового напилення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Одеський національний політехнічний університет МОН України, Одеса, 2020.

Дисертація присвячена актуальній темі розробки систем автоматичного керування процесом іонно-плазмового нанесення покриття на інструмент. Система автоматизації дозволяє покращити якісні властивості та строк експлуатації інструмента за рахунок врахування особливостей технологічного процесу.

В роботі проведена розробка комплексу нелінійних математичних моделей всіх етапів технологічного процесу. Комп'ютерна симуляція проводилась в програмному пакеті Simulink.

Розроблена математична модель динаміки нагріву за лінійною програмою металорізального інструменту в процесі іонного очищення. Джерелом нагріву є плазмова дуга. В установці нагрівання інструменту проводиться як за рахунок потоків тепла іонного бомбардування, так і від нагрітої підкладки, а втрати тепла проходять в результаті випромінювання. Для спрощення модель розроблена з використанням звичайних диференційних рівнянь. Верифікація цієї моделі проведена за допомогою прецизійного моделювання технологічного процесу з використанням класичного рівняння теплопровідності інструменту в часткових похідних в циліндричних координатах. Проблемою керування диференційними рівняннями в часткових похідних є те, що функції керування звичайно входить до термінальної умови, що дуже не зручно при моделюванні. Тому ця термінальна умова замінена еквівалентною дельта-функцією в правій частині диференційного рівняння у відповідності до теорії синтезу

розподілених систем керування. Розв'язання рівняння проводиться з використанням функцій Бесселя 1-го роду 0-го і 1-го порядків.

Розроблена математична модель динаміки теплових процесів в інструменті в процесі нанесення покриття. Вхідною змінною моделі є напруга на підкладці, вихідною – температура інструменту.

Розроблена математична модель динаміки тиску газу в вакуумній камері в процесі нанесення покриття. Вхідною змінною моделі є подача газу, вихідною – тиск в камері.

Розроблена математична модель динаміки процесу охолодження інструменту за допомогою інфрачервоного випромінювання і теплопередачі в опорну касету. Вхідною змінною моделі є подача газу, вихідною – температура інструменту. З використанням розробленого комплексу моделей динаміки основних технологічних процесів установки розроблено сучасні високоякісні системи керування цими процесами.

Розроблена програмно-технічна структура комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації установки іонно-плазмового напилення Булат. Розроблене рішення по автоматизації дозволяє спростити завдання розробки і відлагодження нових рецептів за допомогою спеціальних засобів для імітаційного моделювання установки в реальному часі. Також програмне забезпечення системи автоматизації дозволяє проводити синтез і відлагодження систем автоматичного керування для установки з заданими оператором параметрами технологічного процесу і вимогами до якісних показників інструменту. Розроблена система використовується в навчальному процесі.

Ключові слова: металорізальний інструмент, нанесення покриттів, іонне бомбардування, нелінійна математична модель динаміки, система автоматичного керування, розподілена модель динаміки, система автоматизації, комп'ютерно-інтегрована система.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА:

Стаття в SCOPUS

1. Kirkopulo K., Tonkonogyi V., Stopakevych O., Stopakevych A. Design of a set of nonlinear control systems of the ARC PVD ion-plasma installation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. #2(2). P. 65-74. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127708>

Статті у наукових фахових виданнях

2. Киркопуло Е.Г. Разработка интерфейса оператора компьютерной системы автоматизации установки ионно-плазменного напыления. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2018. №4. Т. 10. С. 54-61. DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1234>.

3. Тонконогий В.М., Киркопуло Е.Г. Прецизионное моделирование нагрева инструментов в процессе управления ионно-плазменной очисткой. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*¹. 2019. №2. Т. 11. С. 38-46. DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1375>.

4. Киркопуло Е.Г. Разработка программно-технической структуры компьютерно-интегрированной системы управления установкой ионно-плазменного напыления. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*¹. 2019. №3. Т. 11. С. 32-41. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i3.1497>

Матеріали конференцій та інші видання

5. Кіркопуло К. Г. Розробка автоматизованої системи керування установкою для плазмового нанесення покриттів. с.72: Матеріали XXIV Міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика – 2017», м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. 267с.

6. Киркопуло К.Г. Разработка системы автоматизации ионно-плазменной установки. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Мате

ріали XVIII міжнар. наук.-техн. конференції, 8-13 червня 2018 р. Одеса. 2018. С.110–113. ISBN 978-966-413-625-6

ABSTRACT

Kirkopulo Kateryna. Automation of control processes of the ARC PVD ion-plasma installation.

Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for Philosophy Doctor degree by specialty 151 – automation and computer- integrated technologies. Odesa National Polytechnic University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2020.

The dissertation is devoted to the actual topic of development of systems of automatic control of the process of ion-plasma coating the tool. The automation system improves the quality of the tools and the lifetime of the tools by taking into account the features of the technological process.

The complex of nonlinear mathematical models of all stages of technological process dynamics is developed in the work. Computer simulation was performed in the Simulink software package.

A mathematical model of heating dynamics to a linear program for metal-cutting tools in the process of ion purification is developed. The source of heat is a plasma arc. In the installation, the heating of the instrument is carried out both by the flow of ion bombardment heat and from the heated substrate, and the heat loss occurs as a result of radiation. For simplicity, the model is designed using ordinary differential equations. Verification of this model was performed using precision process modeling using the classical equation of thermal conductivity of the instrument in partial derivatives in cylindrical coordinates. The problem with controlling partial differential equations is that the control functions are usually included in a terminal condition, which is not very convenient for modeling. Therefore, this terminal condition is replaced by an equivalent delta function on the right-hand side of the differential equation in accordance with the theory of

distributed control systems design. The equation is solved using Bessel functions of 1st type 0th and 1st order.

A mathematical model of the dynamics of thermal processes in a tool in the coating process is developed. The input variable of the model is the voltage on the substrate, the output is the instrument temperature.

A mathematical model of gas pressure dynamics in a vacuum chamber during the coating process is developed. The input variable of the model is gas flow, the output variable is the pressure in the chamber.

A mathematical model of the dynamics of the cooling process of the instrument with the help of infrared radiation and heat transfer to the support cassette is developed. The input change of the model is gas flow, the output is the temperature of the instrument.

Using the developed complex of models of dynamics of the main technological processes of installation, modern high-quality control systems for these processes have been developed.

The software and technical structure of the computer-integrated system of automation of the installation of ion-plasma spraying is developed. The developed automation solution simplifies the problem of developing and debugging new recipes with the help of special tools for simulating real-time installation simulation. Automation system software also enables the design and debugging of automatic control systems for installation with the operator-defined process parameters and requirements for quality instrument performance. The developed system is used in the educational process.

Keywords: metal-cutting tool, coating, ion bombardment, ARC PVD, nonlinear mathematical model of dynamics, system of automatic control, distributed model of dynamics, system of automation, computer-integrated system.

LIST OF PUBLICATIONS

Articles in the SCOPUS

1. Kirkopulo K., Tonkonogyi V., Stopakevych O., Stopakevych A. Design of a set of nonlinear control systems for ARC PVD ion-plasma installation. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2018 # 2 (2). P. 65-74. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127708>

Articles in the scientific professional editions

2. Kirkopulo K. Development of an interface for the operator of a computer system for automation of the installation of ion-plasma sputtering. Automation of technological and business processes. 2018. №4. Vol. 10, pp. 54-61. Doi: <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1234>.

3. Tonkonogyi V.M, Kirkopulo K.G. Precision modeling of tool heating during control of ion-plasma purification. Automation of technological and business processes². 2019. №2. T. 11. P. 38-46. Doi: <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1375>.

4. Tonkonogyi V.M, Kirkopulo K.G. Development of a software-technical structure of a computer-integrated system for controlling the installation of ion-plasma sputtering. Automation of technological and business processes². 2019. №3. T. 11. P. 32-41. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i3.1497>

Conference materials and other publications

5. Kirkopulo K.G. Development of an automated control system for a plasma coating plant. p.72: Proceedings of the XXIV International Conference on Automatic Control «Automation – 2017», Kyiv, Ukraine., September 13-15, 2017: abstracts of the conference. Kiev. 2017. 267 p.

6. Kirkopulo K.G. Development of automation system for ion-plasma installation. Measuring and computing technology in technological processes: Materials XVIII intern. scientific-technical Conference, June 8-13, 2018 in Odessa. 2018. P.110–113. ISBN 978-966-413-625-6