

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА КАМЕРУ СГОРАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Трясин С.В., Михеев М.А.

Самарский университет, г. Самара, sergeytryasin@live.com

Ключевые слова: ракетный двигатель, камера сгорания, защитное покрытие, машинное обучение.

Производство деталей ракетно-космической техники задает высокие требования к качеству деталей, конструкций и систем. Данная задача решается разными путями, в том числе с использованием новых технологий машинного обучения. За последние несколько лет возросла популярность использования машинного обучения для снижения расходов на создание продукции. В 2020 году около 30% компаний промышленного сектора применяли данную технологию с целью создания прогнозов поведения технологического процесса и своевременном проведении корректирующих мероприятий [1-2]. Большинство предиктивных моделей строятся на основе решения задач регрессии [1-2]. Линейная регрессия – модель зависимости переменной x от одной или нескольких других переменных с линейной функцией зависимости является одной из задач регрессионного анализа и широко распространена в Data Science при построении предиктивных моделей машинного обучения. Наиболее популярным языком для написания подобных моделей является Python 3.

Одним из важных этапов при производстве ракетного двигателя является процесс нанесения теплозащитного покрытия на камеру сгорания. Наибольшее применение в качестве метода получения теплозащитных покрытий нашел процесс плазменного напыления, который заключается в нанесении покрытия на поверхность изделия с помощью струи плазмы [3-7,13-15], включающий в себя большое количество факторов, оказывающих влияние на качество и ключевые характеристики покрытия [3-15]. В высокотемпературную плазменную струю подаётся распыляемый материал, который нагревается, плавится [3-5, 13-15] и в виде двухфазного потока направляется на подложку [3-6, 8, 14]. При ударе и деформации происходит взаимодействие частиц с поверхностью основы или напыляемым материалом и формирование покрытия [8-12, 15]. В данном процессе рабочим инструментом выступает плазменная струя, которая и наносит покрытие на изделие. Она характеризуется рядом теплофизических и прочих параметров, которые использовались для прогнозирования свойств покрытия:

- 1) среднемассовая скорость истечения плазменной струи на срезе сопла плазмотрона, которая регулируется расходом плазмообразующего газа;
- 2) среднемассовая энтальпия плазменной струи на срезе сопла;
- 3) количество теплоты, получаемой напыляемой частицей за время ее полета в плазменной струе.

Для построения предиктивной модели использовался модуль Linear Regression библиотеки Sklearn языка Python 3, а для удобства представления данных применялась среда Jupiter Notebook. Разработанная программа прошла апробацию по прогнозированию среднемассовой скорости истечения плазменной струи на срезе сопла плазмотрона. Выявлены и объяснены факторы, оказывающие влияние на конечный результат работы модели.

Список литературы

1. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Москва: Диалектика. 2017. 912 с.
2. Брандт З. Анализ данных. Москва: Мир. 2003. 686 с.
3. Барвинок В.А. Плазма в технологии, надежность, ресурс. М.: Наука и технологии, 2005. 456 с.
4. Бобров Г.В., Ильин А.А., Спектор В.С. Теория и технология формирования неорганических покрытий. М.: Альфа-М, 2014. 925 с.
5. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. Санкт-Петербург: СПбПУ. 2013. 406 с.
6. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. М.: Издательство МГТУ, 2003. 458 с.
7. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Main problems of mathematical modeling high energies plasma technologies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 795. Article number 012004.
8. Гиорбелидзе М.Г., Христосова В.Ю. Анализ результатов численного моделирования ударной деформации частиц при нанесении порошковых покрытий // Инженерный журнал: наука и инновации. 2019. №2(98). С.77-79.
9. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Development of mathematical model of disperse particle motion in the plasma flow in the field of boundary layer during plasma spraying // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1096(1). Article number 012190.
10. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Calculation of residual stresses in plasma spray coatings taking into account the build-up process // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1368(4). Article number 042079.
11. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical simulation of particle impact on a fixed surface in the formation of powder coatings // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1368(4). Article number 042078.
12. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Determination of residual stresses in multi-layer plasma coatings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol.511. Article number 12005.
13. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical Model of Powder Material Particles Heating in Thermal Spraying // Key Engineering Materials. 2018. Vol. 769. P. 336-345.
14. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Mathematical modelling of powder material motion and transportation in high-temperature flow core during plasma coatings application // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. Article number 022036.
15. Bogdanovich V.I., Giorbelidze M.G. Analysis of the ceramic layer microstructure influence on plasma spray thermal barrier coating performance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 286. Article number 012008.

Сведения об авторах

Трясин Сергей Владимирович, магистрант кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, группа 3228-240404 D. Область научных интересов: технологии производства авиационной и ракетно-космической техники, защитные покрытия, машинное обучение, нейронные сети.

Михеев Михаил Александрович, магистрант кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, группа 3228-240404 D, инженер АО РКЦ «Прогресс». Область научных интересов: технологии производства авиационной и ракетно-космической техники, защитные покрытия, сварочные процессы.

**USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGY TO PREDICT
THE PARAMETERS OF PROTECTIVE COATING APPLYING PROCESS
TO THE COMBUSTION CHAMBER OF ROCKET ENGINE**

Tryasin S.V., Miheev M.A.

Samara National Research University, Samara, Russia, sergeytryasin@live.com

Keywords: rocket engine, combustion chamber, protective coating, machine learning.

The production of rocket and space technology parts sets high requirements for the quality of parts, structures and systems. This problem is solved in various ways, including using new machine learning technologies. This article discusses the practical application of machine learning to build predictive models for predicting the parameters of the technological process of applying plasma coatings. The developed program was tested for predicting the average mass velocity of the plasma jet outflow at the nozzle section of the plasma torch. The factors influencing the final result of the model are identified and explained.