

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННОГО ТОКАРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Морозов Р.Д.

*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск,
Россия*

Ключевые слова: плазменное напыление, токарная обработка, комбинированное оборудование, объединение операций, математическое моделирование, технические характеристики.

Аннотация. Излагается методика определения технических характеристик комбинированного технологического комплекса для токарной и плазменной обработки деталей. Приведены результаты моделирования характеристик в виде области варьирования, полученной с помощью специализированной программы. На основе математического моделирования режимных условий привода главного движения установлены граничные рамки основных технических характеристик таких, как частота вращения, момент и эффективная мощность.

TECHNICAL CHARACTERISTICS DETERMINATION OF THE COMBINED TURNING COMPLEX FOR PLASMA TREATMENT AND MACHINING

Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Titova K.A., Morozov R.D.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

Keywords: plasma spraying, turning, combined equipment, operations combination, mathematical modeling, technical characteristics.

Abstract. Technique for determining the technical characteristics of a combined technological complex for turning and plasma processing of parts is stated in the work. The results of modeling characteristics in the form of a variation region obtained using a specialized program are given. On the basis of mathematical modeling of the regime conditions of the main movement drive the boundary frames of the main technical characteristics such as rotational speed, torque and effective power are established.

Введение

Практическое применение плазменных покрытий позволяет увеличить ресурс работы деталей различного технологического оборудования [1-3]. Технология изготовления деталей с плазменными покрытиями включает следующие этапы: предварительная механическая обработка детали, предварительная очистка поверхности перед напылением, плазменное напыление и окончательная размерная обработка напыленной поверхности [4].

Разработка специализированного комбинированного оборудования, объединяющего операции механической обработки и плазменного напыления, является перспективным направлением, поскольку позволяет существенно увеличить качество изготовления деталей при одновременном повышении

производительности обработки. Однако процесс проектирования данного оборудования состоит из нескольких этапов и имеет свою специфику. В предыдущих исследовательских работах для комбинированного технологического комплекса сформирована общая концепция, в частности получен наиболее рациональный вариант структурно-кинематической схемы [5] и разработана трехмерная модель компоновки основных узлов [6]. Но все же наиболее сложной задачей, вследствие крайней ограниченности исходной информации, является определение технических характеристик комбинированного оборудования. В свою очередь применение стандартных методик определения технических характеристик затруднено тем, что рабочий орган – шпиндельный узел должен работать в больших диапазонах скоростей и нагрузок, что в результате приводит к завышенным габаритам и материалоемкости. Поэтому для эффективного решения данной задачи требуется принципиально другой подход, основанный на математическом моделировании технических характеристик.

Цель работы – определение технических характеристик комбинированного токарного комплекса для плазменной и механической обработки деталей типа «вал» со сложной геометрией поверхностей.

Методика

Для решения задачи по определению технических характеристик привода главного движения станка таких, как частота вращения n , момент M , эффективная мощность $N_{\text{Э}}$, требуется расчет предельных минимальных и максимальных значений режимных параметров для обработки заданных поверхностей детали-представителя, под выпуск которой проектируется специализированное оборудование. Для нахождения предельных значений скорости резания и силы резания используются известные степенные математические зависимости, используемые в частности для токарной обработки [7]. Также требуется определение диапазона значений кинематических параметров процесса плазменного напыления, к которым относятся частота вращения детали и скорость перемещения (подача) плазмотрона [8].

Сама методика математического моделирования заключается в том, что технические характеристики n , M , и $N_{\text{Э}}$ образуют систему взаимосвязанных случайных величин связанных между собой и зависящих от множества технологических параметров [9, 10]. В основе математической модели лежит принцип суперпозиции, согласно которому дифференциальная функция распределения системы принимает вид:

$$f(x, y) = \sum_q^{\omega} p_q f_q(x, y), \quad (1)$$

где p_q – вероятность воспроизведения условий обработки q на оборудовании; $f_q(x, y)$ – дифференциальная функция распределений эксплуатационных характеристик для условий обработки q ; ω – количество различных условий обработки, реализуемых на оборудовании.

Статистическими исследованиями [11, 12] установлено, что при определенных сочетаниях технологических факторов данные характеристики можно описать логарифмически нормальным законом распределения. Поэтому в формуле (1) можно произвести замену переменных: $x = \ln M$, $y = \ln n$.

Геометрически функция $f(x,y)$ изображается в виде поверхности распределения, но на практике вместо данной поверхности используют картину распределения системы эксплуатационных характеристик, которая представляет собой семейство кривых равной вероятности. Ее формируют сечением поверхности $f(x,y)$ рядом плоскостей H , параллельных горизонтальной, и проецирования полученных кривых на последнюю. Полученная таким образом картина распределения позволяет скорректировать и окончательно установить значение искомых технических характеристик. Кроме того, имеется возможность с помощью последовательного интегрирования функции $f(x,y)$ внутри некоторой области S , ограниченной рамками технических характеристик, найти вероятность p_{ij} выполнения работ для всех сочетаний n_i и M_j , при соответствующей мощности N_{ij} . Для определения значения вероятности попадания точки с координатами x_j и y_i в элементарную область ΔS используется формула:

$$p_{ij}((x, y) \in \Delta S) = \iint_{\Delta S} f(x, y) dx dy. \quad (2)$$

Результаты исследования

Реализацию предлагаемой методики рассмотрим на примере детали типа «вал», имеющей различные геометрические формы обрабатываемых поверхностей и цилиндрические шейки, упрочненные с помощью плазменного напыления (рис. 1).

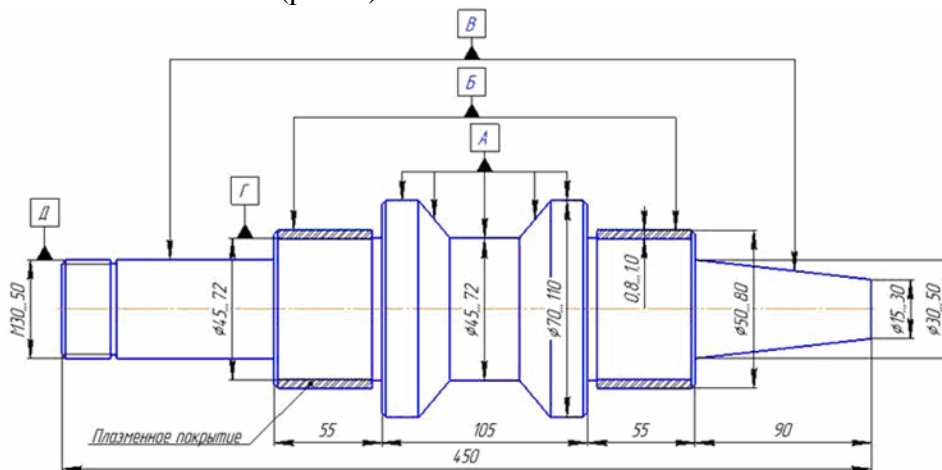


Рис. 1. Эскиз вала прокатного стана

Следует отметить, что в работе [5] представлена обобщенная структурно-кинематическая схема станочного комплекса для обработки данной детали. Токарная обработка реализуется по всему контуру детали,

включая цилиндрические и конические поверхности, подрезку торца и нарезание наружной резьбы. Для плазменного напыления шеек вала обеспечивается согласование вращательного движения детали и поступательного перемещения плазмотрона.

В таблице 1 представлены результаты расчетов предельных режимных параметров обработки каждой поверхности детали, изготовленной из стали 40Х при обработке твердосплавными резцами. Кинематические параметры плазменного напыления получены с учетом экспериментального опыта нанесения износостойкого порошкового материала марки ПГ-С27 с помощью электродугового плазмотрона ПУН-3. Полученные параметры будут использованы в качестве исходных данных для математического моделирования привода главного движения.

Табл. 1. Исходные данные для моделирования характеристик привода

Параметры условий обработки	Обозначение	Вид операции и группы поверхностей					
		Фасонная под прокат (А)	Фасонные (Г)	Цилиндрические с плазменным покрытием в т.ч. «рваная резьба» (Б)	Цилиндрическая и коническая (В)	Резьбовая (Д)	Плазменное напыление (Б)
Минимальный диаметр обработки, мм	d_{min}	45	45	50	15	30	50
Максимальный диаметр обработки, мм	d_{max}	110	72	80	50	50	80
Минимальная скорость резания, м/мин	V_{min}	201	155	205	205	93	13
Максимальная скорость резания, м/мин	V_{max}	855	844	850	894	93	21
Минимальная сила резания, Н	P_{zmin}	30	30	30	30	30	3
Максимальная сила резания, Н	P_{zmax}	6000	6000	4000	6000	6000	30
Вероятность условий обработки	P	0,1	0,2	0,45	0,1	0,1	0,05
Коэффициент корреляции между логарифмами скорости и диаметра	Rn	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Коэффициент корреляции между логарифмами силы и диаметра	RM	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

На рисунке 2 приведены результаты моделирования технических характеристик в виде области варьирования, полученной с помощью специализированной программы *Fase-1*, разработанной на кафедре

проектирования технологических машин Новосибирского государственного технического университета.

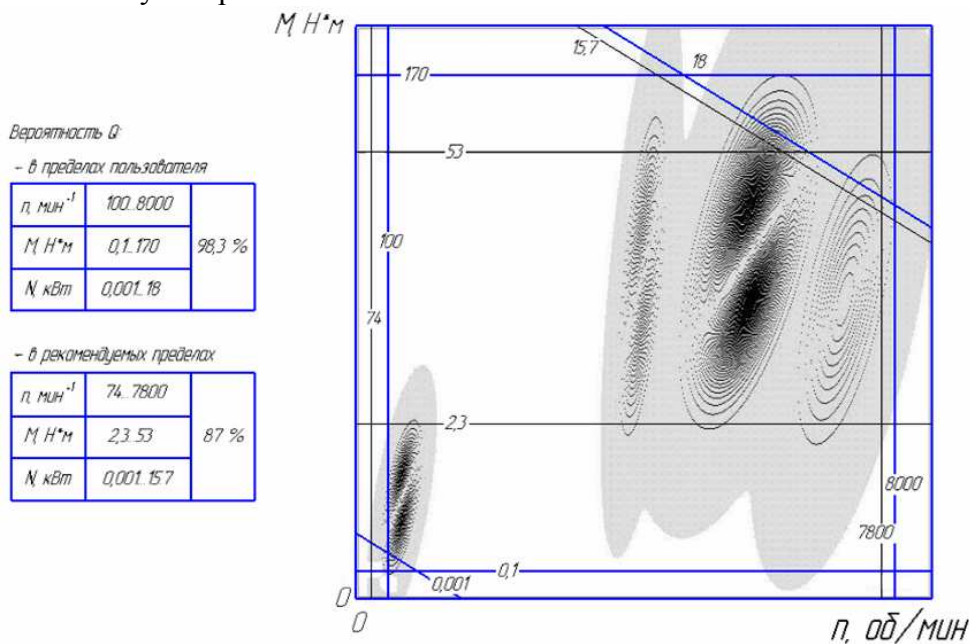


Рис. 2. Картина распределения эксплуатационных характеристик

Полученная картина наглядно отображает отдельные области распределения эксплуатационных характеристик, которые имеют явно неравномерный характер, что обусловлено различной спецификой операций, как непосредственно токарной обработки, так и плазменного напыления. Существует возможность исследования внутри каждой из зон численных значений вероятности выполнения операций. Основная же задача заключается в установлении на картине распределения окончательных граничных условий для каждой технической характеристики путем установления следующих интервалов: $n_{min} - n_{max}$; $M_{min} - M_{max}$; $N_{min} - N_{max}$. Особые требования предъявляются к частоте вращения шпинделя, поскольку при корректировке необходимо обеспечить значения частот в соответствии со стандартным числовым рядом.

Таким образом, данная методика позволяет достаточно оперативно установить граничные значения основных технических характеристик для привода главного движения специализированного оборудования, реализующего как токарную, так и плазменную обработку.

Выводы

Предложенный подход, основанный на математическом моделировании, позволяет определить технические характеристики не только привода главного движения, но и аналогичным образом установить значения технических характеристик для привода подач комбинированного оборудования, реализующего токарную и плазменную обработку деталей. В свою очередь исчерпывающее решение задачи определения технических характеристик

позволяет перейти непосредственно к этапу конструкторской проработки узлов оборудования и к дальнейшему промышленному изготовлению.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-1_22.

Список литературы

1. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Трегубчак П.В. Технологическое обеспечение качества плазменных покрытий // *Обработка металлов.* – 2012. – № 1(54). – С. 10-13.
2. Березин Е.К. Применение газотермического напыления в технологии изготовления защитных втулок узлов уплотнений с целью повышения их работоспособности: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Н.-Новгород, 2003. – 24 с.
3. Рассказова Н.А. Оптимизация параметров антифрикционного покрытия вкладышей подшипников судовых дизелей при плазменном напылении: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Владивосток: Морской гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского, 2006. – 21 с.
4. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 357 с.
5. Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Савельева Е.А. Разработка структурной схемы комбинированного токарного оборудования для плазменной и механической обработки // *Актуальные проблемы в машиностроении.* – 2021. – Т. 8, № 1-2. – С. 50-57.
6. Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Морозов Р.Д. Модель компоновки комбинированного станочного комплекса для плазменной и механической обработки валов // *Актуальные проблемы в машиностроении.* – 2022. – Т. 9, №1-2. – С. 62-68.
7. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. Дальского А.М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сулова А.Г. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 2. – 912 с.
8. Зверев Е.А. Технологический процесс восстановления изношенных деталей машин методами газотермического напыления: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2019. – 64 с.
9. Zverev E., Tregubchak P., Vakhrushev N., Ptitsyn S. Specifications of machine-tool equipment: forecasting techniques // *Applied Mechanics and Materials.* 2015, vol. 788: Actual Problems and Decisions in Machine Building. – P. 318-324. – DOI: 10.4028/www.scientific.net /AMM.788.318.
10. Зверев Е.А., Морозов Р.Д. Оценка энергоэффективности металлорежущего станка на основе моделирования эксплуатационных характеристик привода главного движения // *Актуальные проблемы в машиностроении.* – 2022. – Т. 9, №1-2. – С. 47-53.
11. Птицын С.В., Чёсов Ю.С. Методология прогнозирования технических характеристик станков // *Известия вузов. Машиностроение.* – 2000. – №1-2. – С. 90-96.
12. Ptitsyn S.V., Chyosov Yu.S. Simulation of operation loadings at account elements machine tools of drives on fatigue durability // *1 Russian Korean International Symposium on Applied Mechanics (RUSKO-AM-2001).* – Russia: Novosibirsk State Technical Universiti. 2001, pp. 200-203.

References

1. Chosov Yu.S., Zverev E.A., Tregubchak P.V. Technological assurance of quality of plasma coatings // Metal Working and Material Science. 2012, no 1(54), pp. 10-13.
2. Berezin E.K. The use of thermal spraying in the technology of manufacturing protective bushings of sealing units in order to increase their performance: abstract of diss. ... cand. of tech. sc. – N.-Novgorod, 2003. – 24 p.
3. Rasskazova N.A. Optimization of the parameters of the antifriction coating of the bearing shells of marine diesel engines during plasma spraying: abstract of diss. ... cand. of tech. sc. – Vladivostok: Maritime State university named after adm. G.I. Nevelskoy, 2006. – 21 p.
4. Puzryakov A.F. Theoretical foundations of plasma spraying technology. – M.: MSTU named after N.E. Bauman, 2008. – 357 p.
5. Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Titova K.A., Savelyeva E.A. Structural scheme development of the combinedlathe equipment for plasma andmechanical treatment // Actual problems in machine building. 2021, vol. 8, no 1-2, pp. 50-57.
6. Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Titova K.A., Morozov R.D. Layout model of the combined machine complex for plasma and mechanical shafts processing // Actual problems in machine building. 2022, vol. 9, no. 1-2, pp. 62-68.
7. Handbook of technologist-machine builder / ed. A.M. Dalsky, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov, A.G. Suslov. – M.: Mechanical Engineering, 2003. – Vol. 2. – 912 p.
8. Zverev E.A. Technological process of restoration of worn-out machine parts by methods of thermal spraying: teaching aid. – Novosibirsk: NSTU, 2019. – 64 p.
9. Zverev E., Tregubchak P., Vakhrushev N., Ptitsyn S. Specifications of machine-tool equipment: forecasting techniques // Applied Mechanics and Materials. 2015, vol. 788: Actual Problems and Decisions in Machine Building. – P. 318-324. – DOI: 10.4028/www.scientific.net /AMM.788.318.
10. Zverev E.A., Morozov R.D. Assessment of energy efficiency of the metal cutting machine based on simulation of performance characteristics of the main motion drive // Actual problems in machine building. 2022, vol. 9, no. 1-2, pp. 47-53.
11. Ptitsyn S.V., Chesov Yu.S. Methodology for predicting the technical characteristics of machine tools // News of universities. Engineering. 2000, no. 1-2, pp. 90-96.
12. Ptitsyn S.V., Chyosov Yu.S. Simulation of operation loadings at account elements machine tools of drives on fatigue durability // 1 Russian Korean International Symposium on Applied Mechanics (RUSKO-AM-2001). – Russia: Novosibirsk State Technical Universiti. 2001, pp. 200-203.

Зверев Егор Александрович – кандидат технических наук, доцент	Zverev Egor Alexandrovich – candidate of technical sciences, associate professor
Вахрушев Никита Викторович – старший преподаватель	Vakhrushev Nikita Viktorovich – senior lecturer
Титова Кристина Андреевна – старший преподаватель	Titova Kristina Andreevna – senior lecturer
Морозов Роман Денисович – магистрант	Morozov Roman Denisovich – graduate student
vah_nikit@mail.ru	

Received 02.11.2022