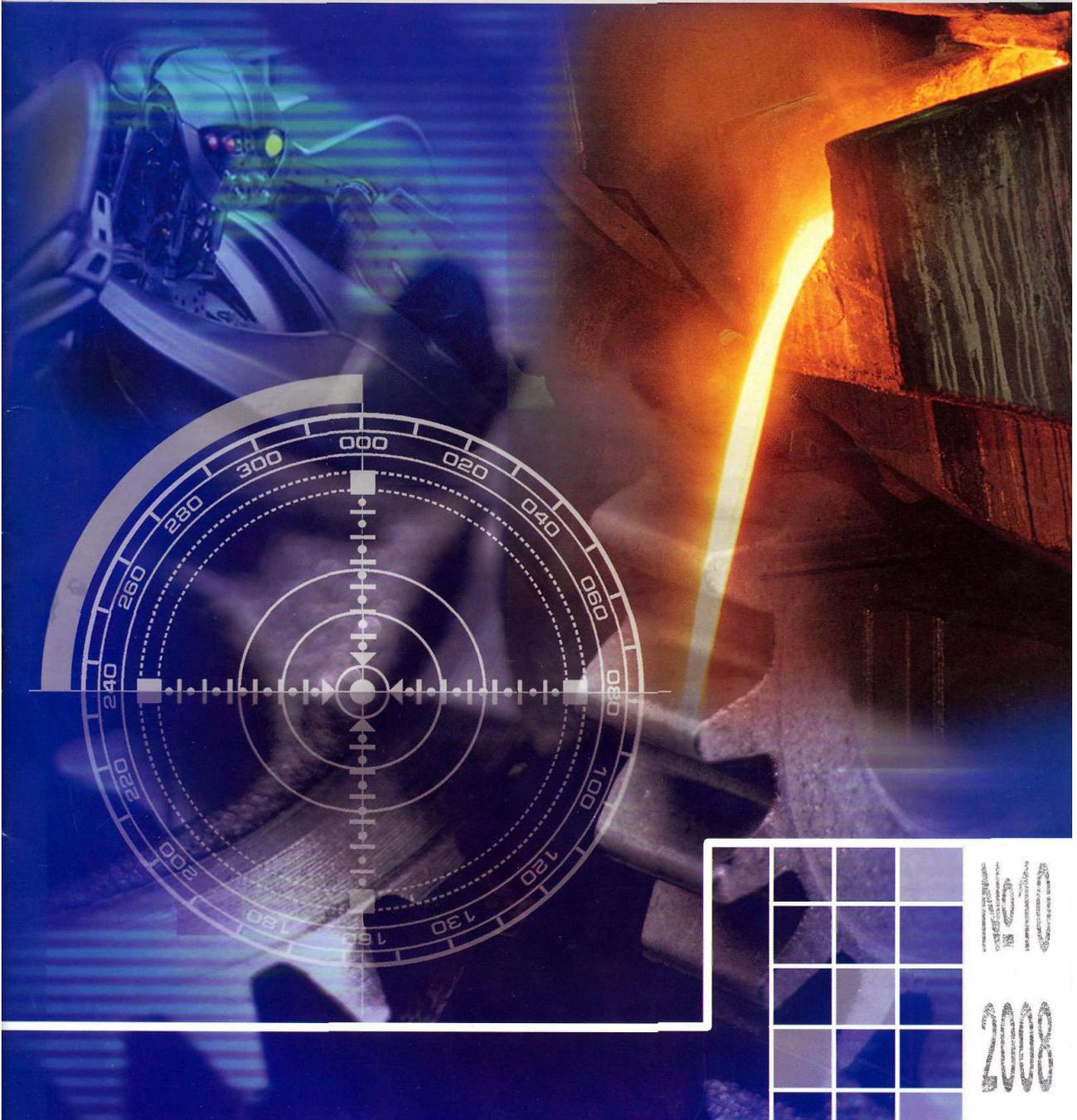


ISSN 1729-4959

МАШИНОЗНАВСТВО

MECHANICAL ENGINEERING

ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ЩОМІСЯЧНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ І ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ



Всеукраїнський щомісячний
науково-технічний і виробничий
журнал

Висвітлюються результати теоретичних і експериментальних досліджень у галузях:
Динаміка та міцність машин
Матеріалознавство
Математичне моделювання й обчислювальні методи
Механіка деформівного твердого тіла
Захист матеріалів від корозії
Конструювання, розрахунок, випробування та надійність машин
Системи приводів
Тертя та зношування в машинах
Технологія машинобудування
Розрахований на викладачів вищих закладів освіти, наукових працівників, аспірантів і спеціалістів машинобудівної промисловості.

Редакційна колегія:

О. Андрейків, член-кор.
НАН України, проф., д. т. н.,
М. Бобир, проф., д. т. н.,
Я. Бурак, член-кор. НАН України,
проф., д. ф.-м. н.,
О. Гачкевич, проф., д. ф.-м. н.,
В. Гелетій, доц., к. т. н.,
С. Гутиря, проф., д. т. н.,
М. Дмитриченко, проф., д. т. н.,
В. Кир'ян, член-кор.
НАН України, проф., д. т. н.,
Б. Кіндрацький, проф., д. т. н.,
І. Кузьо, проф., д. т. н.,
Р. Кушнір, проф., д. ф.-м. н.,
В. Малащенко, проф., д. т. н.,
В. Марцинковський, проф., д. т. н.,
В. Осадчук, проф., д. ф.-м. н.,
В. Павлице, проф., к. т. н.,
В. Палаш, проф., к. т. н.,
В. Панасюк, академік НАН України,
проф., д. т. н.,
М. Пашечко, проф., д. т. н.,
В. Похмурський, член-кор.
НАН України, проф., д. т. н.,
З. Стоцько, проф., д. т. н.,
В. Струтинський, проф., д. т. н.,
Г. Сулим, проф., д. ф.-м. н.,
Г. Тріщ, доц., к. т. н.,
Є. Харченко, проф., д. т. н.,
М. Шульженко, проф., д. т. н.

Адреса редакції:

79058, м. Львів-58, а/c 6758.
E-mail: me@in.lviv.ua

Відповідальність за достовірність
реклами несуть рекламодавці.

При повному або частковому
передрукуванні матеріалів посилання
на "Машинознавство" є обов'язковим.

© Машинознавство, 2008.

З М І С Т

3. *Шевченко В., Дергачова Н.* Дослідження напруженого стану ортотропних оболонок при зосередженому тепловому нагріві

8. *Бурак Я., Кузін М.* Побудова математичної моделі механіки металічних пружних систем з урахуванням дисипативних процесів

12. *Жовдак В., Ларін О.* Розв'язок задачі вимушених випадкових коливань лопаткового апарата з розладом на основі одного сектора

17. *Жовдак В., Степченко О., Демуз Я.* Нелінійні коливання пакетів лопаток з роз'ємними з'єднаннями

22. *Аржасв Г., Пелевін Л., Балака М.* Визначення параметрів реологічних моделей опорних поверхонь руху позашляхових транспортно-технологічних засобів

25. *Березюк О.* Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів зі сміттєвозів

29. *Коц І., Петрусь В.* Математична модель оцінювання технічного стану гідропривідного насосного агрегату

32. *Ткачук О., Погрелок І.* Властивості титанових сплавів після оксидірування

35. *Іваськевич Л.* Вплив температури на водневу деградацію дисперсійно твердих аустенітних сталей

40. *Широков В., Грибовська В.* Особливості формування структури та фізико-механічних властивостей пружинних сталей за прямого електронагріву під гартування

45. *Попов С.* Визначення характеристики газополуменевого наплавлення на основі багатфакторного експерименту

48. *Інформація для авторів*

National Monthly Scientific-Technical
and Industrial Journal

The journal is dedicated to the following
problems:

Dynamics and strength of machines
Material science
Mathematical simulation and calculation
methods
Mechanics of deformable-rigid body
Corrosion protection of materials
Design, calculations, testing and reliability of
machines
Drive systems
Friction and wear in machines
Manufacturing engineering
The journal intended for scientists and
specialists in mechanical engineering.

EDITORIAL BOARD

O. Andrejkiv
M. Bobyr
Ja. Burak
V. Geletij
S. Gutyrja
M. Dmytrychenko
O. Hachkevych
V. Kiryan
B. Kindratsky
I. Kuzio
R. Kushnir
V. Malashchenko
V. Marcinkovsky
V. Osadchuk
V. Pavlyshche
V. Palash
V. Panasyuk
M. Pashechko
V. Pokchmurskyi
Z. Stocko
V. Strutynsky
G. Sulym
G. Trishch
E. Kharchenko
M. Shulzhenko

Editorial office address:

Po.Box 6758, Lviv-58, Ukraine.
Telefax: 380 (32) 231-92-99
E-mail: me@in.lviv.ua

© Mechanical Engineering, 2008.

CONTENTS

3. *Shevchenko V., Dergachova N.* **Research of an intense condition ortotropic shells at the concentrated thermal heating**
8. *Burak Ja., Kuzin M.* **Mathematical model construction of elastic metal systems with dissipation processes inside**
12. *Zhovdak V., Larin O.* **Solution of forced random bladed disk vibrations with mistuning on the base of one-sector model**
18. *Zhovdak V., Stepchenko O., Demuz Y.* **Nonlinear vibrations of blade packages with plug-type connections**
22. *Arzhaev G., Pelevin L., Balaka M.* **Mathematical model of determination of parameters of rheological models of supporting surfaces of motion outroad transport-technological means**
25. *Bereziuk O.* **Research of dynamics of hydraulic drive of unloading of hard domestic offcuts from garbage track**
29. *Kots I., Petrus V.* **Mathematical model of hydraulically driven pump technical state estimation**
32. *Tkachuk O., Pogreluk I.* **Characteristics of titanium alloys after oxynitriding**
35. *Ivaskevich L.* **Influence of temperature on the hydrogen embrittlement of precipitation hardenable austenitic steels**
40. *Shyrovkov V., Grybovska V.* **Features forming of structure and physico-mechanical properties of springy steels at the direct electroheating during a temper**
45. *Popov S.* **Flame spraying feature finding on basis of complex experiment**
56. *Information for Authors*

УДК 621:620.178.16

С. Попов

Канд. техн. наук,
Полтавський національний
технічний університет
імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЕННЯ НА ОСНОВІ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Визначена функціональна залежність міцності зчеплення зносостійкого твердосплавного напилення хромонікелевого порошку ПГ-10Н-01 з основою для конічного підшипника ковзання, що взаємодіє безпосередньо з будівельним розчином, універсальної розчинозмішувальної установки мобільного типу УРЗ-3,8 з урахуванням методів математичного моделювання та математичної статистики.

газополуменеве напилення, математична модель, міцність зчеплення

Підвищення надійності вузлів і деталей будівельного розчинозмішувального обладнання шляхом розроблення технологічних процесів, які забезпечують підвищення терміну експлуатації, високу продуктивність з великим економічним ефектом, є основним завданням сьогодення. Набувають поширення науково обґрунтовані методи вибору параметрів технологічних процесів відновлення пар тертя. Широке впровадження нових методів напилення спрацьованих деталей будівельного устаткування стримується високою вартістю матеріалів та обладнання. Отже, виникає проблема, пов'язана з вибором найефективнішого методу створення зносостійкого покриття й дослідженням чинників, що впливають на нього.

Науково-дослідною галузевою лабораторією механізації ручної праці в будівництві Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка спроектовано та виготовлено дослідний зразок універсальної розчинозмішувальної установки мобільного типу УРЗ-3,8 (рис. 1), за опори для робочого органа якої застосовані підшипники оригінальної конструкції [1 — 3]. Під час роботи робочі поверхні цапфи і вкладки підшипників поступово спрацьовуються. Було запропоновано підвищити їхню стійкість проти абразивного спрацювання, бо вони працюють безпосередньо в будівельному розчині.



Рис. 1. Установка УРЗ-3,8

У нашому випадку найоптимальнішою виявилась технологія газополуменевого напилення, враховуючи режим роботи установки [4].

Мета статті — на основі експериментальних даних, застосовуючи методи математичного моделювання та математичної статистики, визначити чинники, які мають основний вплив на процес газополуменевого напилення

Значення інтервалів варіювання параметрів

Но- мер	Найменування	Розмірність	Позначення	Верхній рівень (+)	Нульовий рівень (0)	Нижній рівень (-)	Інтервал варіювання
X1	Тиск	МПа	кисню	p_{02}	0,250	0,188	0,062
X2			ацетилену	$p_{сн2}$	0,060	0,043	0,017
X3	Витрата	л/хв	кисню	q_{02}	7,000	4,750	2,250
X4			ацетилену	$q_{сн2}$	6,000	3,600	2,400
X5			порошку	$q_{пг}$	50,000	33,500	17,000
X6	Критерій надійності зчеплення	мкм ⁻¹	$D/R_z n$	18,750	17,709	16,667	1,041

твердосплавного хромонікелевого порошку марки ПГ-10Н-01 на робочі поверхні тертя цапфи і вкладки конічного підшипника ковзання, що безпосередньо взаємодіє з будівельним розчином, універсальної розчинозмішувальної установки мобільного типу УРЗ-3,8. Отримати математичну модель у вигляді лінійної функціональної залежності, яка б адекватно характеризувала взаємодію зносостійкого прошарку з поверхнею основи.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, взаємодію напильного шару з основою характеризує міцністю зчеплення $\sigma_{зч}^r$, МПа. При її визначенні було враховано шість головних чинників, інтервали змін числових значень яких були обгрунтовані на основі аналізу технології створення зносостійкого покриття для підвищення абразивної стійкості підшипників ковзання та наведені в табл. 1.

За заданою кількістю чинників, згідно з рекомендаціями щодо проведення багатфакторного аналізу [5 — 8], було складено план шести факторного експерименту вимірювання величини сили відриву (стандартний штифтовий метод визначення міцності зчеплення) і розрахунку $\sigma_{зч}^n$ та $\sigma_{зч}^r$, а також матрицю його оброблення. Випробування здійснювали на розривній машині МР-500.

Пошукові експерименти вказали на те, що параметр $\sigma_{зч}^r$ міцності зчеплення істотно залежить від тиску, витрати паливної суміші газів і порошку, а також критерію надійності зчеплення. Прийmemo, що ця залежність має лінійний характер. За основу моделі було взято вираз

$$\sigma_{зч}^r = K_0 + K_1 X_1 + \dots + K_6 X_6 + K_{12} X_1 X_2 + \dots + K_{13} X_1 X_3 + \dots + K_{56} X_5 X_6. \quad (1)$$

При варіюванні параметрів, відповідно до плану проведення експерименту, вимірювали величину сили відривання конічного штифта $F_{рм}$ і розраховували величину міцності зчеплення $\sigma_{зч}^n$ та $\sigma_{зч}^r$ (у нормальній і дотичній площинах) за стандартною методикою.

Шляхом оброблення результатів за матрицею плану були визначені коефіцієнти лінійної залежності (1). Розрахунок коефіцієнтів полінома $Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6)$ проводився за методикою [7, 8]. Перевірку значимості розрахованих коефіцієнтів K_1, K_2, \dots, K_{56} , які визначають $\sigma_{зч}^r$, здійснювали з метою визначення міри впливу кожного чинника на величину міцності зчеплення покриття за основою.

Умовою значимості коефіцієнта є порівняння розрахункової величини t_p -критерію Стюдента з табличним значенням

$$t_p = \frac{|K_x|}{S(K_\phi)} \geq [t_p], \quad (2)$$

де K_x — значення розглянутого коефіцієнта лінійної регресії; $S(K_x)$ — середня квадратична похибка визначення коефіцієнтів; $[t_p] = 2,5$ — рекомендоване значення критерію Стюдента при шести факторному експерименті [8]. Ядро шести факторного плану становить $N=32$.

При невиконанні цієї умови розглянутий коефіцієнт K_x надалі не враховувався, а чинник, що відповідає йому (або добуток чинників), відсіювався як незначущий.

Середньоквадратичну похибку у визначенні коефіцієнтів розраховували за формулою

$$S(K_\phi) = \frac{S_0}{\sqrt{N}}, \quad (3)$$

де S_0 — середньоквадратичне відхилення, яке характеризує похибку вимірювання,

$$S_0 = \sqrt{S_0^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_0} [(\sigma_{зч}^r)_{i,op} - (\sigma_{зч}^r)_{0,op}]^2}{n_0 - 1}}, \quad (4)$$

де $(\sigma_{зч}^r)_{i,op}$ — значення параметра при вимірюванні в „нульовій” точці; $(\sigma_{зч}^r)_{0,op}$ — середнє значення результатів вимірювань у „нульовій” точці; n_0 — кількість вимірів у „нульових” точках:

$$(\sigma_{зч}^r)_{0,op} = 37,333; S_0 = \sqrt{S_0^2} = \sqrt{7,967} = 4,239.$$

Значення середньоквадратичної похибки у визначенні коефіцієнтів

$$S(K_\phi) = \frac{4,239}{\sqrt{32}} = 0,749.$$

Після відсіювання незначущих коефіцієнтів у наведеній послідовності залишаються лише три значимі коефіцієнти: $K_0 = 38,391$, $K_2 = 1,859$, $K_{35} = -2,078$.

Отримали таку уточнену залежність:

$$\sigma_{зч}^r = K_0 + K_2 X_2 + K_{35} X_3 X_5 = 38,391 + 1,859 X_2 - 2,078 X_3 X_5. \quad (5)$$

Після підстановки значень параметрів на „нульовому” рівні та інтервалів варіювання з табл. 1 маємо

$$\begin{aligned} \sigma_{34}^{\tau} &= 38,391 + 1,859 \cdot \left(\frac{P_{C_2H_2} - P_{C_2H_2,0}}{\Delta P_{C_2H_2}} \right) - \\ &- 2,078 \cdot \left(\frac{q_{O_2} - q_{O_2,0}}{\Delta q_{O_2}} \right) \cdot \left(\frac{q_{ПГ} - q_{ПГ,0}}{\Delta q_{ПГ}} \right) = \\ &= 38,391 + 1,859 \cdot \left(\frac{P_{C_2H_2} - 0,043}{0,017} \right) - \\ &- 2,078 \cdot \left(\frac{q_{O_2} - 4,750}{2,250} \right) \cdot \left(\frac{q_{ПГ} - 33,500}{16,500} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином, після спрощення кінцева залежність для міцності зчеплення з основою σ_{34}^{τ} матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_{34}^{\tau} &= 33,689 + 109,353 P_{C_2H_2} - \\ &- (0,924 \cdot q_{O_2} - 4,387) \times (6,061 \cdot 10^{-2} \cdot q_{ПГ} - 2,030). \end{aligned} \quad (7)$$

Кінцеве оцінювання придатності уточненої функціональної залежності робимо на основі розрахунку критерію Фішера F_p і порівняння його з рекомендованим значенням $[F_p]$. При шестифакторному плані й кількості значимих коефіцієнтів, рівних 3, гранична величина критерію $[F_p]$ становить 4,5 [6]:

$$F_p = \frac{S_{oc}^2}{S_0^2} \leq [F_p], \quad (8)$$

де S_{oc}^2 — остаточна дисперсія; S_0 — середньоквадратичне відхилення, яке характеризує похибку вимірювання.

Для розрахунку остаточної дисперсії визначаємо за розробленою функціональною залежністю значення $\sigma_{34,p}^{\tau}$ для кожного рядка плану. Потім обчислюємо для кожного рядка величину абсолютного відхилення розрахункових $\sigma_{34,p}^{\tau}$ величин від фактичних σ_{34}^{τ} :

$$\Delta = \left| \sigma_{34}^{\tau} - \sigma_{34,p}^{\tau} \right|. \quad (9)$$

Обчислюємо остаточну дисперсію

$$S_{oc}^2 = \frac{\sum_1^n \Delta^2}{N - m} = 27,268, \quad (10)$$

де $\sum_1^n \Delta^2$ — загальна сума квадратів абсолютних відхилень розрахункових $\sigma_{34,p}^{\tau}$ величин від фактичних σ_{34}^{τ} ; n — загальна кількість вимірів у плані проведення експерименту; N — ядро плану; m — кількість значимих коефіцієнтів, що входять до складу уточненої функціональної залежності.

Розрахункове значення критерію Фішера

$$F_p = \frac{27,268}{7,967} = 3,423 < 4,5.$$

Оскільки розрахункове значення F_p -критерію менше, від граничного, то розроблена на основі багатфакторного аналізу функціональна залежність адекватно описує взаємозв'язок параметрів.

Отже, побудована математична модель у вигляді лінійної залежності (7), що адекватно характеризує взаємодію напilenого твердосплавного хромопідкелевого прошарку з основою. Середнє значення відносної похибки під час перевірки адекватності математичної моделі становить 10%, що є цілком прийнятним результатом. Основний вплив на міцність зчеплення має тиск ацетилену, оскільки від нього залежить температура оброблення; збільшення витрати кисню та матеріалу підвищує рівень окиснення й товщину прошарку відповідно, а, отже, зменшує величину σ_{34}^{τ} .

Література

1. *Онищенко А.Г., Васильев А.В., Попов С.В.* Новые машины для механизации отделочных работ в строительстве // Строительные и дорожные машины. — 2006. — №1. — С.7 — 9.
2. *Онищенко О.Г., Попов С.В.* Регульовані кінчні підшипники ковзання мобільної розчинозмішувальної установки УР3-3,8 // Восточноєвропейський журнал передових технологій. — 2006. — №1. — С. 45 — 47.
3. Деклараційний пат. на корисну модель 15436 Україна. МПК (2006) E04G 21/04. Конічний підшипник ковзання / *О.Г. Онищенко, С.В. Попов* (Україна). — № а 2005 11691; Заявл. 08.12.2005; Опубл. 17.07.06; Бюл. № 7. — 4 с.
4. *Попов С.В., Зінов'єв Г.С.* Підвищення зносостійкості поверхонь твердосплавним порошком ПГ-10Н-01 // Третя всеукр. конф. „Надтверді, композиційні матеріали та покриття: отримання, властивості, застосування”. Тези доповідей. — К.: ІНМ НАНУ, 2006. — С. 55 — 57.
5. *Математичне моделювання технологічних процесів у машинобудуванні* / А.І. Гордієнко, Л.Г. Полонський, П.П. Мельничук, М.Л. Хейфець. — Житомир: ЖІТІ, 2001. — 190 с.
6. *Мюллер П., Нойман П., Шторм Р.* Таблицы по математической статистике / Пер. с нем. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 278 с.
7. *Михок Г., Урсяну В.* Выборочный метод и статистическое оценивание / Пер. с рум. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 245 с.
8. *Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М.* Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. — Л.: Колос, 1980. — 168 с.

Отримана 12.07.08

S. Popov

Flame spraying feature finding on basis of complex experiment
Poltava National Technical University, Poltava

This paper is devoted to mathematical modelling and statistics. The authors pay attention to determination a bond resistance functional dependence of hard alloy flame spraying powder ПГ-10Н-01 with base for special conical sliding bearings. These bearings are used in the construction of mobile mortar mixer УР3-3,8. The article describes more efficient factors of flame spraying in details.

До відома авторів!

Журнал "Машинознавство" визнаний ВАК України науковим фаховим виданням, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук, а також фізико-математичних наук за спеціальністю "Механіка деформівного твердого тіла".

*Додатки до постанов президентів ВАК України
№ 01-05/9 від 8 вересня 1999 р. та № 1-03/8 від 11 жовтня 2000 р.*