

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ И СКОРОСТЕЙ

Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Дьяченко О.В., Николаенко В.Л.

(БНТУ г. Минск, Беларусь)

Тел./Факс: +375 (0172) 3310045; E-mail: scvmed@bntu.by

Abstract: *The tribotechnical characteristics of nickel coatings after laser doping with TiN, AlN and BN by a continuous CO₂ laser have been studied. Dependences of the amount of wear on the sliding speed and pressure at the contact point are obtained.*

Key words: *laser processing, regression model, wear, sliding speed, contact pressure.*

Важнейшими характеристиками эксплуатационных свойств применяемых в машиностроительной, нефтяной и других отраслях оборудования являются его надежность, долговечность, ремонтпригодность [1, 2]. Работоспособность оборудования зависит от износа его деталей. Повысить износостойкость никелевых покрытий можно путем лазерного легирования AlN, TiN, и BN непрерывным CO₂- лазером. Данные технологии нанесения покрытий могут применяться как при изготовлении новых деталей, так и при ремонте изношенных деталей [3].

Целью настоящей работы является изучение триботехнических характеристик модифицированных покрытий в широком диапазоне давлений и скоростей.

Методика исследований

Подслоем наносился на подготовленную дробеструйной обработкой поверхность образцов из стали 45 прямоугольной формы сечением 10 x 10 и длиной 30 мм, на которые напыляли самофлюсующийся сплав из порошка ПГ-СРЗ методом плазменного напыления. Обмазка состояла из модифицирующих добавок TiN, AlN, BN с небольшим количеством связующего (2%-ный раствор клея «АГО» в ацетоне).

Оплавление проводилось при мощности $N = 800$ Вт, диаметре лазерного луча $d=2,0$ мм, скорости его перемещения $V= 3,33$ мм/с с шагом $k=2,0$ мм

Для ускоренных сравнительных испытаний материалов на износ при сухом трении использовали машину трения МТ – 1 при линейной скорости вращения истирающего диска V от 1,5 – 4 м/с, давление P 1,5 – 10 МПа, твердости диска 40 – 45 НРС. Время эксперимента – 300 с.

Для исследования влияния параметров испытания износостойкости (удельного давления и скорости скольжения) на изнашивание лазерно-наплавленных покрытий был использован один из методов математического планирования – метод полного факторного эксперимента [4 – 6]. Так как число варьируемых параметров невелико, оказалось возможным реализовать полную реплику, в которой число опытов равно 2 в степени, равной числу факторов: $N = 2k$, позволяющую в ходе эксперимента варьировать одновременно несколькими параметрами различной физической природы и получать раздельную, независимую оценку коэффициентов, что невозможно, например, при реализации дробной реплик. При этом необходимо, чтобы все независимые переменные, влияющие на процесс, изменялись на двух уровнях: минимальном и максимальном.

Серия состояла из 4 основных опытов. Полученная модель считалась линейной и учитывала взаимодействие факторов.

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_{12}X_1X_2, \quad (1)$$

Y_i - параметры оптимизации, X_i – варьируемые факторы, B_{ij} – коэффициенты регрессии, описывающие направление и степень влияния каждого из факторов на параметры оптимизации.

Для составления таблицы данных (матрицы планирования) определяли пределы изменения основных входных параметров, в качестве которых были приняты технологические параметры лазерной обработки.

X_1 – скорость перемещения образца. X_2 – давление в месте контакта.

В качестве выходных параметров принимаем величину износа в зависимости от скорости скольжения и давления в месте контакта.

Исследование триботехнических характеристик покрытия с AlN

Для расчетов выбираем изменение скорости V от 1,5 – 4 м/с, давление P 1,5 – 10 МПа. Эксперименты в каждой точке выполнялись трижды.

Таблица 1. Исходные экспериментальные данные и расчеты для покрытий с AlN

I	код	V	P	Результаты экспериментов			\overline{P}_{yi}	S_i^2	\overline{P}_i	$(\overline{P}_i - \overline{P}_i)^2$
	X max	4	10	Py ₁	Py ₂	Py ₃				
	X min	4,5	1,5							
	X осн	2,75	5,75							
	ΔX	1,53	4,25							
II	№ опыта	V м/мин	P МПа							
	1	-1	-1	8	9	7	8	1,000	7,995	0,000025
	2	+1	-1	11	13	14	12,7	2,335	12,705	0,000025
	3	-1	+1	14	17	15	15,3	2,335	15,305	0,000025
	4	+1	+1	26	23	24	24,3	2,335	24,315	0,000225
						Σ	8,005			0,0003

Составляем аналогичные таблицы исходных экспериментальных данных и расчетов для покрытий после лазерного легирования TiN и BN.

После необходимых преобразований получим следующие уравнения

Для AlN:

$$P = 4,331 + 1,576 V + 0,5558P + 0,202VP \quad (2)$$

Для TiN:

$$P = 2,227 + 1,29 V + 0,008P + 0,47VP \quad (3)$$

Для BN:

$$P = 7,787 + 1,378 V + 0,151P + 0,345VP \quad (4)$$

С помощью данных формул рассчитаем зависимость величины износа от скорости скольжения и давления в месте контакта для трех вышеуказанных покрытий при значениях скоростей скольжения: 0,5; 2; 2,5; 3,5; 4 м/с и давления: 2; 5; 10; 15; 20 МПа.

Расчетные зависимости износа от скорости скольжения и давления в месте контакта для покрытий, содержащих AlN, TiN и BN представлены в таблицах 2 – 4 .

Таблица 2. Зависимость величины износа от скорости скольжения V и давления P в месте контакта для покрытия с AlN

Скорость скольжения, м/с	Величина износа I, мкм				
	Давление, МПа				
	2	5	10	15	20
0,5	6,64	8,41	11,71	15,00	18,30
2	9,41	12,29	17,10	21,91	26,72
2,5	10,40	13,59	18,90	24,22	29,53
3,5	12,38	16,17	22,50	28,82	35,15
4	13,37	17,47	24,30	31,13	37,96

Таблица 3. Зависимость величины износа от скорости скольжения V и давления P в месте контакта для покрытия с TiN

Скорость скольжения, м/с	Величина износа I , мкм				
	Давление, МПа				
	2	5	10	15	20
0,5	3,50	4,45	6,02	7,60	9,17
2	6,85	9,91	15,00	20,11	25,21
2,5	7,96	11,73	18,00	24,28	30,55
3,5	10,19	15,37	23,99	32,62	41,24
4	11,31	17,19	26,99	36,79	46,59

Таблица 4. Зависимость величины износа от скорости скольжения и давления в месте контакта для покрытия с BN

Скорость скольжения, м/с	Величина износа I , мкм				
	Давление, МПа				
	2	5	10	15	20
0,5	9,12	10,07	11,69	13,31	14,93
2	12,23	14,77	18,59	23,16	27,36
2,5	13,36	16,30	21,37	26,43	31,50
3,5	15,33	19,40	26,20	32,99	39,78
4	16,36	20,95	28,61	36,26	43,92

Графическая зависимость износа от давления в месте контакта для покрытий, содержащих AlN, TiN и BN представлена на рисунке 1.

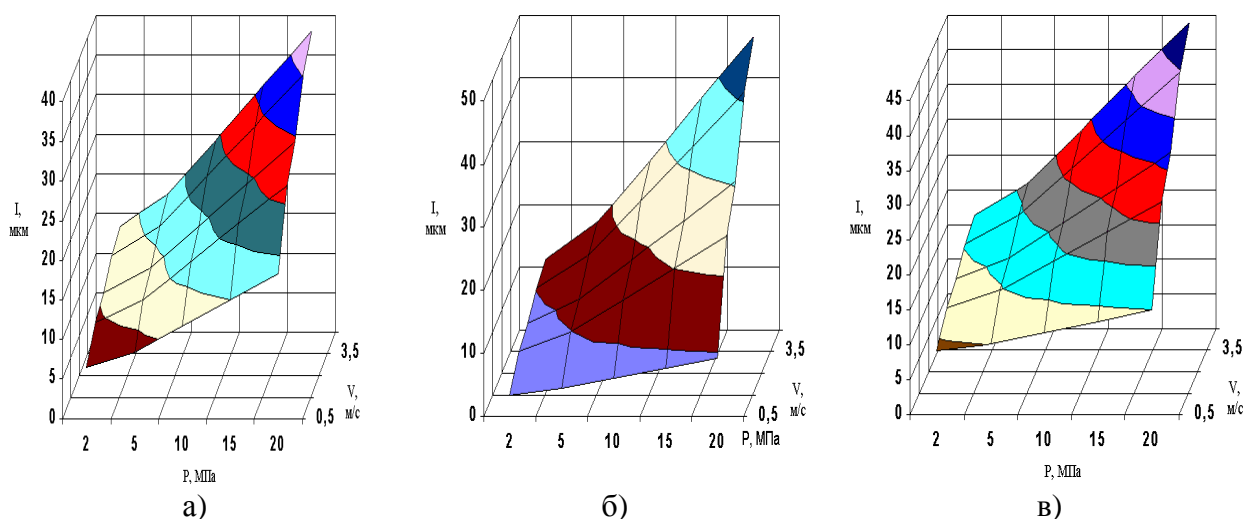


Рис. 1. Поверхность отклика влияния скорости скольжения V и давления P на износ покрытий: а) с AlN, б) с TiN, в) с BN

Предварительные испытания показали, что у покрытия самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ, оплавленного лазерным излучением без обмазки при испытаниях со скоростями выше 3 м/с и давлениями выше 10 МПа - износ в 2-2,5 раза выше, чем у покрытия с обмазкой и составляет 100...105 мкм. То есть, покрытия из сплава ПГ-СРЗ, оплавленные без обмазки, можно эксплуатировать при давлениях до 5...6,5 МПа и скоростях скольжения до 2...2,5 м/с.

Из рисунка видно, что с увеличением контактного давления и скорости скольжения величина износа покрытия возрастает: с 6,64 мкм до 37,96 мкм для AlN, с 3,50 мкм до 46,59 мкм для TiN и с 9,12 мкм до 43,92 мкм для BN. При этом кривая износа возрастает постепенно.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований и расчетов получено:

1. Можно рекомендовать покрытия с AlN для эксплуатации при высоких скоростях скольжения и контактных давлений.
2. Покрытия с TiN, при давлениях 2...15 МПа и скоростях не больше 0,5...3,5 м/с.
3. Покрытия с нитридом бора можно рекомендовать для эксплуатации при средних скоростях в пределах 2...3 м/с и давлениях не больше 15 МПа и не меньше 5 МПа.

Список литературы: 1. Исакин И.И. Методы поверхностной лазерной обработки металлов и сплавов, - Ростов-на-Дону: Южный университет, (ИУБиП), №2 (18), - 2016, - С. 49 – 58. 2. Савватимский А. И., Теплофизические свойства многокомпонентного никель-хромового сплава ВСДП-3 при плавлении и в жидкой фазе / А. И., Онуфриев С. В., Мубояджян С. А., Середкин Н. Н., Конюхов С. А./ ТВТ, 55:5 (2017), С. 846–849. 3. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров / Под ред. А.Г. Григорьянца–М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2006.– 664 с.4. Кузнецова Е.В. Экспериментальная механика / учебно-методическое пособие. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2009. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. – 35 с. 5. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с. 6. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. М 30 Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИЕНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Коваленко В.И., Харитонов О.М. (ДонНТУ, г. Донецк)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: The article studies the result of measuring the beating of bodies of revolution during processing in serial production. The parts were processed in serial production on pre-configured equipment. The characteristics of the measurements (standard deviation and confidence range of the values) are determined. The reasons for the output of real beat values beyond the tolerance limits are established.

Key word: beat, tolerance, deviation, confidence range

В экспериментальном цехе машиностроительного завода, при обработке деталей тел вращения, выполнено исследование биения наружных и торцевых поверхностей. В качестве объекта исследования приняты детали типа «втулки», у которых соосные цилиндрические поверхности ограничены торцевыми поверхностями.

Втулки обрабатывались на станках, предварительно настроенных на станках с автоматическим получением размеров. Помимо геометрических размеров, необходимо