

Загальні значення відхилень від круглості доріжок кочення: 0,323 мкм (зовнішнє кільце), 0,340 мкм (внутрішнє кільце).

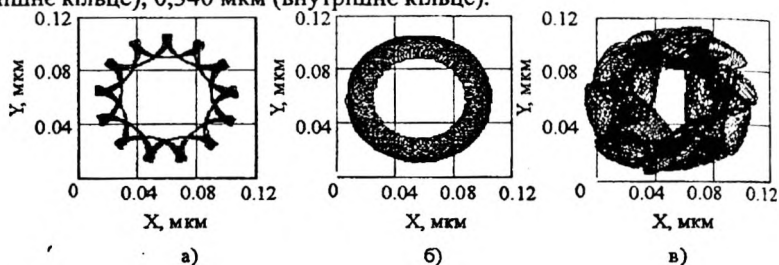


Рис.1. Траєкторії руху внутрішнього кільця підшипника:
а) SNFA; б) FAG; в) ВНИПІ.

Перелік посилань: 1. Машиностроение. Энциклопедия. Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. – Т.IV-7 / Под ред. Б.И.Черпакова. – М.: Машиностроение. – 1999. – 863 с. 2. Журавлев В.Ф., Бальмонт В.Б. Механика шарикоподшипников гироскопов. – М.: Машиностроение. 1985. – 272 с. 3. Бальмонт В.Б., Матвеев В.А. Опоры качения приборов. – М.: Машиностроение. – 1984. – 240 с. 4. Данильченко Ю.М. Початкове зміщення внутрішнього кільця радіально-упорного підшипника опори шпиндельного вузла. // Вісник Тернопільського державного технічного університету. - 2000. - Том 5. - № 1. – С. 35-45. 5. Данильченко Ю.М. Статика неідеального радіально-упорного кулькового підшипника опори шпиндельного вузла. // Вісник ТДТУ. - 2000. - Том 5. - № 2. – С. 33-38. 6. Данильченко Ю.М., Петров С.В. Жорсткість підшипників опор кочення високоточних швидкохідних шпиндельних вузлів // Вісник ТДТУ. - 2000. - Том 5. - № 4. – С. 25-34. 7. Данильченко Ю.М., Петров С.В. Моделювання силових характеристик підшипників опор кочення швидкохідних шпиндельних вузлів // Вісник ТДТУ. - 2001. - Том 6. - № 1. – С. 51-60.

Статья поступила в редакцию 22.05.2001г.

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ОПЛАВЛЕНИЕМ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ОБМАЗОК ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ

Девойно О.Г., Кардаполова М.А. (БГПА, г. Минск, Беларусь)

Technology of creation of the composite powder coatings by laser melting of modifying putties on the basis of nitrides TiN and AlN have been developed. The correlation between technological parameters of laser processing and parameters of a structure, phase structure, physical-mechanical properties and resistance to wear of composite powder coating have been presented.

Введение. Технология лазерной обработки обеспечивает возможность выбора различных схем наплавки в зависимости от условий работы детали и требуемого комплекса свойств. Газотермические (газопламенное и плазменное) виды нанесения наплавочного материала перед лазерной обработкой гарантируют лучший комплекс свойств покрытия (низкая пористость, шероховатость поверхности), что является решающим при восстановлении поверхностей большой площади, несмотря на относительно высокую энергоемкость процесса. Использование вместо поглощающего покрытия перед лазерной обработкой модифицирующую обмазку позволяет получать наплавочные покрытия с мелкодисперсной армирующей составляющей. Структуры такого типа обычно получают сплошной лазерной обработкой поверхности.

Микроструктура выбранного в качестве матричного материала для наплавки сплава системы Ni-Cr-B-Si состоит из твердого раствора на основе никеля (γ -Ni), боридов и карбидов хрома, эвтектики γ -Ni + Ni₃B./1/. Структурная чувствительность к условиям термообработки позволяет варьировать свойства в нужном направлении. Сплав обладает высоким сцеплением к железной подложке, что позволяет получать высокие значения прочности сцепления наплавленных поверхностей с подложкой. Использование лазерной обработки приводит к измельчению структурных составляющих, получению тонкодифференцированных эвтектик. Еще одним достоинством локальной обработки является достаточно простая возможность вводить в состав сплава легирующие добавки, влияющие на комплекс свойств поверхности. Применение композиционных порошковых наплавочных покрытий КПНП обеспечивает на рабочей поверхности деталей, работающих в условиях граничного трения, не только хорошую прирабатываемость, но и высокую износостойкость.

В качестве легирующих материалов были выбраны нитрид титана TiN и нитрид алюминия AlN. Как известно из предварительно проведенных исследований, нитриды снижают коэффициент трения, армируют покрытие, повышая прочностные и эксплуатационные свойства.

После плазменного напыления покрытий проводилось нанесение на поверхность легирующей обмазки на основе порошков TiN, AlN с добавлением порошка никеля и небольшого количества связующего (3%-ый раствор клея «AGO» в ацетоне).

В качестве технологического оборудования использовалась серийная установка для плазменного напыления УПУ-3Д с плазмотроном ПП-25 и источником питания ИПН-160/600 и лазерная установка непрерывного действия ЛГН-702 мощностью 800 Вт. Напыление подслоя осуществлялось на режимах: $I = 250$ А, $U = 880$ В, $p_a = 6$ Атм.

Технологические факторы выбирали, исходя из соображений управ-

ляемости (т.е. возможности изменять их при условии надежного измерения их величин и изменений) и ортогональности (т.е. взаимной независимости): $X_1 - V$, скорость перемещения лазерного луча (основной уровень $3,16 \times 10^{-3}$ м/с, интервал варьирования $-1,83 \times 10^{-3}$ м/с); $X_2 - d$, диаметр луча лазера в месте соприкосновения с поверхностью металла, "диаметр пятна", (основной уровень $2,0 \times 10^{-3}$ м, интервал варьирования $-1,0 \times 10^{-3}$ м); $X_3 - k$, коэффициент перекрытия дорожек, т.е. отношение шага обработки (расстояния между средними линиями дорожек) к диаметру пятна (основной уровень $-1,0$, интервал варьирования $-0,5$).

В качестве метода планирования экспериментов был выбран метод полного факторного эксперимента Бокса-Уилсона.

В качестве параметров оптимизации определяли следующие характеристики полученных покрытий: параметр 1 - количество твердого раствора на основе никеля, % по объему; параметр 2 - степень легированности твердого раствора на основе никеля в пересчете на концентрацию хрома, % атомарный, т.е. фазы, образующей непрерывный каркас покрытия и обеспечивающей передачу внешних нагрузок и внутренних напряжений на другие, более прочные и упругие фазы; параметр 3 - количество упрочняющих фаз в покрытии, % по объему: для серии 1 - количество фаз TiN и Ti₂N, для серии 2 - количество AlN; параметр 4 - количество окислов в покрытии, % по объему: для серии 1 - количество окислов никеля, хрома и титана, для серии 2 - количество окислов никеля, хрома и алюминия; параметр 5 - количество боридов хрома и никеля, % по объему; параметр 6 - количество силицидов хрома и никеля, % по объему; параметр 7 - для серии 2 - количество алюминидов никеля в покрытии, % по объему.

Каждый образец снимали на дифрактометре ДРОН-3.0 в медном монокроматизированном излучении, используя для расшифровки разработанную программу STAT.

Обсуждение результатов. Результаты расчета математических моделей по выбранным критериям представлены в таблице.

Анализ полученных моделей показывает, что количество твердого раствора меняется в пределах от 10 до 25%. Для обоих вариантов наплавки количество твердого раствора тем больше, чем: больше скорость лазерной обработки, диаметр лазерного луча и коэффициент перекрытия.

Наиболее сильное влияние для обоих вариантов наплавки оказывает второй фактор (положительная корреляция).

Y_3 - количество первичной упрочняющей фазы. Для первого варианта наплавки - это фазы TiN и Ti₂N, для второго - AlN, фактически количество нерастворившихся компонентов. Количество указанной фазы тем больше, чем меньше диаметр лазерного луча и чем больше скорость перемещения лазерного луча, то есть при уменьшении времени нахождения на-

плавления материала в жидком состоянии. При этом сильное влияние оказывает коэффициент перекрытия дорожек лазерной обработки. Для разных композиций знак влияния указанного фактора различный, что обусловлено разной природой дисперсных добавок.

Таблица – Результаты расчета коэффициентов уравнений регрессии

Код параметра оптимизации	Доверительный интервал коэффициентов	Коэффициенты регрессии модели типа $Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_4 \cdot X_4$			
		B_0	B_1	B_2	B_3
Для опытов с TiN					
Y_{11}	3,564	19,875	2,625	5,625	-1,375
Y_{12}	0,594	3,438	-0,488	0,837	0,088
Y_{13}	2,97	7,875	0,375	-1,625	2,125
Y_{14}	2,97	19,375	-4,875	-1,875	0,125
Y_{15}	3,564	22,5	3,25	-0,75	-0,75
Y_{16}	2,376	27,25	-1,0	-0,5	-0,25
Для опытов с AlN					
Y_{21}	0.43	15.9	2.4	4.6	-0.9
Y_{22}	0.01	3.15	-0.5	0.8	0.02
Y_{23}	0.23	10	0.32	-0.44	-0.43
Y_{24}	0.36	17.6	-3.09	-0.59	-0.15
Y_{25}	0.32	16.75	2.5	-1.0	0.5
Y_{26}	0.27	24.18	-0.68	-0.68	-0.56
Y_{27}	0.68	14.56	0.31	-1.56	1.56

Присутствие окислов в покрытии обусловлено, в первую очередь, составом дисперсной армирующей составляющей. При этом количество оксидов в покрытии тем больше, чем меньше диаметр лазерного луча (следовательно, выше плотность мощности и температура зоны наплавки) и чем меньше скорость обработки (выше время нахождения в горячем состоянии). Следует отметить, что присутствие в покрытии окислов титана и алюминия не является отрицательным явлением в связи с их высоким уровнем триботехнических характеристик. Требуется лишь оптимизация покрытия по этому параметру.

Y_5 и Y_6 – количество в покрытии боридов и силицидов хрома и никеля. Это вторичная упрочняющая фаза, количество которой достигает в покрытии до 50%. Ее присутствие обуславливает высокую износостойкость лазерно-наплавленных покрытий. Как видно из приведенных данных, на этот параметр наиболее сильное влияние оказывает диаметр лазерного лу-

ча, определяющий температуру в зоне наплавки, но также значительное

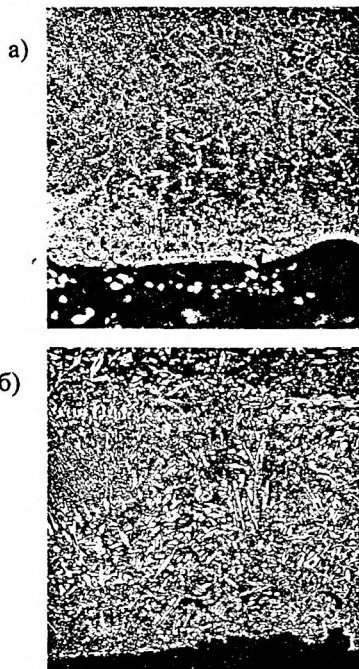


Рис.1. Микроструктура покрытий, полученных оплавлением модифицирующих обмазок: а – AlN, б - TiN

влияние оказывают и остальные технологические параметры лазерной обработки. При этом более высокая температура зоны наплавки способствует увеличению количества боридной составляющей, а более низкая температура наплавки приводит к увеличению силицидной составляющей.

Количество интерметаллидов в наибольшей степени определяется диаметром лазерной обработки, т.е. температурой в зоне наплавки.

При мягких режимах обработки происходит образование дендритной структуры. При высоких скоростях наплавки ($V=5,0 \times 10^{-3}$ м/с) упрочняющая фаза из дендритов как бы пронизывает все покрытие. Малая скорость охлаждения привела к образованию коротких и широких дендритов твердого раствора. При уменьшении скорости охлаждения грубые пластинки карбоборидов приобретали вид «стержней» (Рис.1).

Применение КППИ обеспечивает на рабочей поверхности деталей, работающих в условиях граничного

трения, не только хорошую прирабатываемость, но и высокую износостойкость [2-4]. При введении нитридных добавок наименьшая величина износа была получена для сплава с добавками нитрида титана. Это может быть объяснено тем, что при оптимальном режиме наплавки (небольшой скорости $V=80$ мм/мин и низком энергокладе при диаметре луча равном 3,0 мм) не происходило сильного выгорания модифицирующих дисперсных добавок. Перегрев покрытия вызвал разложение некоторых структурных составляющих. Так, TiN разложился с образованием TiO_2 . Часть титана легировала никелевую матрицу, препятствуя движению и скоплению дислокаций и повышая износостойкость покрытий.

По данным фазового анализа при указанных режимах оплавления в покрытиях сохранилось до 10% TiN и 5% AlN, а доля примеси TiN и AlN в γ -никелевой матрице составила 1,50% ат. и 2,73% ат. соответственно.

Выводы. В результате рентгеноструктурных исследований установлено, что при наплавке композиций самофлюсующийся сплав + TiN (AlN), в наплавленном слое формируется структура γ -твердого раствора никеля с большим количеством первичной и вторичной упрочняющей фазы. Получены корреляционные зависимости, связывающие режимы лазерной наплавки с параметрами структуры формируемых слоев.

Высокая износостойкость у наплавленных покрытий с армирующими составляющими объясняется упрочнением никелевой матрицы, легированной металлами, входящими в их состав и увеличением количества упрочняющих фаз. Интенсивность изнашивания снижается у КПП при увеличении параметров кристаллической решетки никелевой фазы, связанной с растворением в ней легирующих элементов, что исключает возможность движения и скопления дислокаций, способствующих упрочнению матричной фазы.

Список литературы: 1. Получение и структура газотермических покрытий на основе Ni-Cr-B-Si сплавов / Ю.С. Борисов, И.Н. Горбатов, Б.Р. Калиновский и др. // ПМ, 1985.-№9. С.22-26. 2. Газотермические покрытия из композиционных порошков на основе карбида титана-хрома / И.Н. Горбатов, А.Д. Панасюк, А.К. Шведова, А.П. Уманский и др. // Защитные покрытия на металлах.- 1991, №25.-С.22-25. 3. Бякова А.В., Васильев А.И., Власов А.А. Об износостойкости покрытий из TiN в условиях фреттинг-коррозии // Трение и износ. - 1992, т.13, №4. - С. 674-682. 4. Наплавленные композиционные покрытия на основе карбонитрида титана / Ю.К. Толстобров, А.К. Толстобров, М.Ю. Зашляпин, В.В. Митрофанов // Состояние и перспективы восстановления и упрочнения деталей машин: Матер.конф. Сб.1.-Мн., 1994. - С.88-90.

Статья поступила в редакцию 29.05.2001г.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ НАЛАГОДЖЕНЬ НА ОДНОШПИНДЕЛЬНІ ТОКАРНІ АВТОМАТИ.

Денисюк В.Ю., Сулим Г.Т.

(ЛДТУ, м. Луцьк, ЛНТУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна)

The methodic of automatised design of tool adjustments with the purpose of one-pindle automated lathes' application in serial multi-nomenclature production is designed.