

2. Экспериментальные исследования данного процесса подтвердили его эффективность: установлено уменьшение среднего износа зубьев червячной фрезы в 1,4 раза, максимально возможного износа – в 1,6 раза, интенсивности износа зубьев – в 1,8 раза, увеличение точности зубьев – в 1,2 раза. За счёт интенсификации режимов зубофрезерования червячной фрезой его производительность может быть увеличена в 1,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1255315 СССР, МКИ В 23 F 5/20. Способ фрезерования цилиндрических зубчатых колёс.
2. Подураев, В. Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания / В. Н. Подураев – М.: Машиностроение, 1977 – 304 с.

УДК 669.716.9

Комаров А.И.¹, Фролов И.С.², Фролов Ю.И.², Девойно О.Г.²

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ VN и ZrO₂ ЛАЗЕРНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

1. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

2. Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Показано, что лазерное легирование оксидом циркония и нитридом бора керамического покрытия Al₂O₃, сформированного на алюминиевом сплаве В95 методом микродугового оксидирования (МДО-покрытия), позволяет получать в его поверхностном слое композиционную эвтектическую керамику. Установлено, что лазерное легирование без предварительной механической обработки покрытия (шлифования) обеспечивает получение модифицированного слоя при всех режимах лазерной обработки, не приводя к значительным оплавлениям и сколам покрытия. Лазерная обработка при легировании оксидом циркония и нитридом бора приводит также к росту доли корунда α-Al₂O₃, что положительно сказывается на микротвердости покрытия.

Введение

К наиболее широко используемым для изготовления деталей пар трения керамическим материалам относятся алюмооксидная керамика (Al₂O₃) и керамика на основе диоксида циркония (ZrO₂) [1, 2]. В качестве альтернативы применяются керамики на основе диоксида циркония (ZrO₂) и нитрида бора VN [1]. Наряду с имеющимся у этих материалов комплексом высоких физико-механических характеристик (твёрдость, износостойкость, химическая стабильность) им присущи некоторые недостатки. Так, алюмооксидная керамика характеризуется самой низкой трещиностойкостью среди производимых конструкционных керамик. Диоксид циркония, напротив, обладает одним из самых высоких среди технических керамик значением трещиностойкости и предела прочности на изгиб, который составляет 700 – 1000 МПа [2]. Однако оксид циркония, в отличие от оксида алюминия, проявляет деградацию механических свойств под воздействием влаги при температурах до 300 °С. Нитрид бора, предназначен для синтеза сверхтвёрдых материалов, а так же применяется в качестве огнеупорного, высокотемпературного, тепло и электроизоляционного материала, твёрдой смазки. Он облада-

ет удачным сочетанием физических и механических свойств (высокая температура плавления 2000 °С, твердость до 90 HRC или 9+ баллов по шкале Мосса, низкий коэффициент трения и химическая устойчивость к коррозии и окислению; является превосходным электрическим и тепловым изолятором). Однако высокий модуль упругости (более 700 ГПа) и как следствие высокая хрупкость нитрида бора, получаемого по традиционной технологии спекания порошков, не позволяет применять его в чистом виде.

Традиционно преодоление отмеченных недостатков достигается получением композитной керамики, путем спекания Al_2O_3 с ZrO_2 или BN. При сохранении высокой твердости полученной керамики удается повысить трещиностойкость и износостойкость [1].

Значительно более высоких характеристик данных типов композитной керамики можно достичь путем ее переплава и быстрой кристаллизации. В этом случае формируется эвтектическая керамика $Al_2O_3-ZrO_2$, Al_2O_3-BN обладающая сочетанием высоких физических, тепловых и механических свойств, таких как высокие твердость, стойкость к окислению и сохранение прочности при повышенных температурах [2]. Одним из эффективных методов получения данной керамики является лазерная обработка.

Материалы и методика исследования

В качестве основы для формирования покрытий использовался высокопрочный алюминиевый сплав В95. Микродуговое оксидирование проводилось при напряжении 250–300 В, 50 Гц и плотности тока 60 А/дм². Продолжительность процесса составляла 90 мин. Покрытия формировались в силикатно-щелочном электролите на основе дистиллированной воды с концентрацией натриевого жидкого стекла Na_2SiO_3 – 4 г/л, гидроксида калия KOH – 2 г/л. Затем на поверхность с покрытием наносилась обмазка, содержащая микропорошок ZrO_2 или BN, после чего осуществлялась обработка лазерным излучением. Мощность лазерного излучения была постоянной и составляла 1 кВт, однако изменялся диаметр луча и скорость его перемещения. Параметры лазерного излучения представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры лазерного излучения для каждой из областей

Номер образца	Кол-во образцов	Диаметр луча, мм	Скорость обработки, мм/мин
1	2	3	300
2	2	3	400
3	2	3	500
4	2	3	600

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены микроструктуры легированного нитридом бора керамического покрытия (КП), без предварительной обработки.

Анализ микроструктуры покрытий показал, что керамический слой сохраняет типичную для МДО-покрытий морфологию при низких значениях подводимой лазерной энергии (рис. 1). При снижении скорости образуются множественные участки композитного покрытия, находящиеся как на поверхности КП, так и внутри него. Возрастание подводимой энергии (уменьшение d_L до 4 мм) сопровождается образованием трещин в самом покрытии и на его границе с основой. Это приводит к снижению адгезии покрытия, отслоению и скалыванию. Следует отметить, что в последнем случае происходит глубокий переплав МДО-покрытия с нитридом бора, что выражается в формировании хорошо заметного светлого поверхностного слоя, имеющего низкую пористость, но при этом обладающего очень низкой адгезией к основе. Кроме того, при $d_L = 4$ мм и

наименьшей скорости хорошо заметны зоны термического воздействия на поверхность основы.

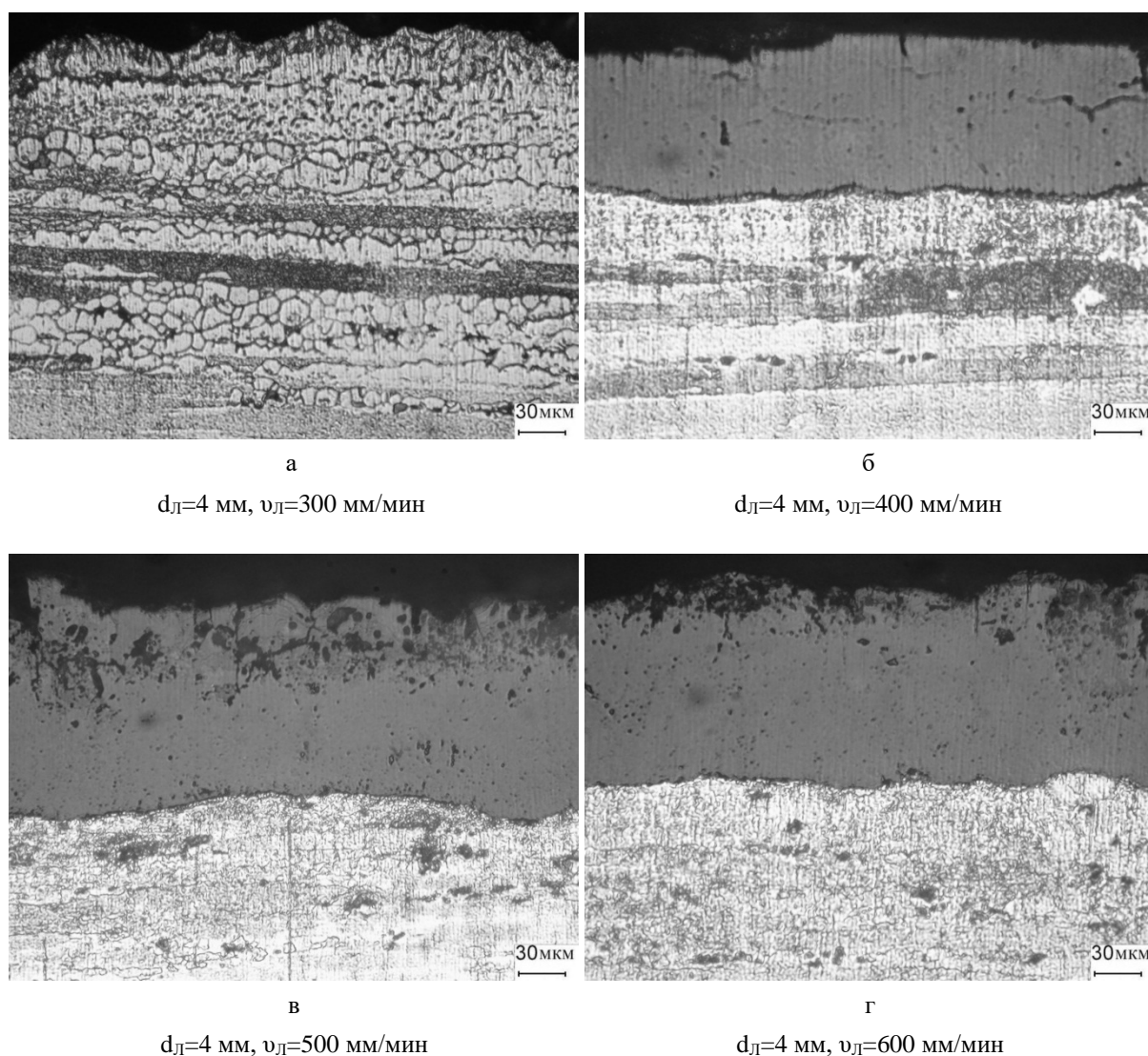


Рис. 1. Микроструктуры образцов из сплава В95 с покрытием после лазерного легирования VN

На рис. 2 представлены микроструктуры легированного оксидом циркония керамического покрытия, без предварительной обработки.

Анализ микроструктуры покрытий показал, что керамический слой сохраняет типичную для МДО-покрытий морфологию при низких значениях подводимой лазерной энергии (рис. 2). Увеличение подводимой энергии приводит к снижению устойчивости покрытий, обширным сколам и уменьшению толщины. При $d_{л} = 4$ мм, толщина покрытий возрастает, они имеют более равномерную структуру, но при этом характеризуются повышенной пористостью, и большим размером самих пор. Кроме того, при $d_{л} = 4$ мм и наименьшей скорости хорошо заметны зоны термического воздействия на поверхность основы.

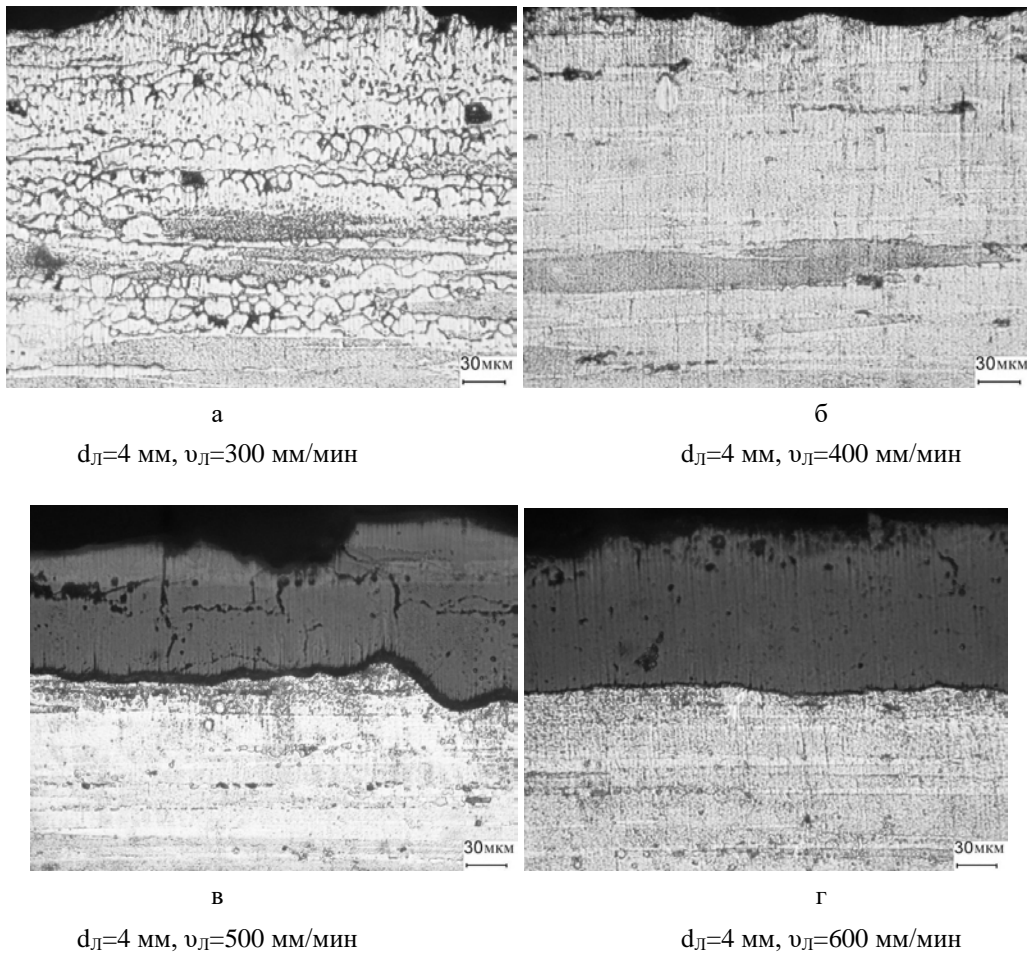


Рис. 2. Микроструктуры образцов из сплава В95 с покрытием после лазерного легирования ZrO_2

На рис. 3 представлены диаграммы распределения фаз в поверхностном слое КП.

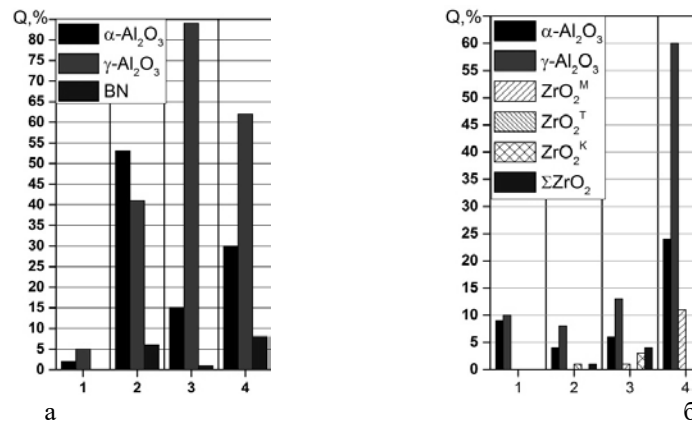


Рис. 3. Диаграмма распределения фаз в поверхностном слое КП образцов, легированных BN (а) и ZrO_2 (б)

Анализ данных показал, что повышенные значения энергии негативно сказываются на процессе легирования, доли легирующих добавок не превышают 10 %. При этом содержание корунда для образцов с ZrO_2 также достаточно низкое. Уменьшение подводимой энергии приводит к резкому росту доли содержания легирующей добавки. В частности для образцов с BN содержание альфа фазы Al_2O_3 и легирующей добавки лежит в диапазоне 15-25 %. Образцы с ZrO_2 характеризуются повышенным содержанием альфа фазы, а также моноклинной и кубической модификациями оксида циркония. Данная структура образцов оказывает положительное влияние на толщину и твердость КП.

На рис. 4 представлены образцы дифрактограмм образцов КП, легированных BN (а) и ZrO₂ (б).

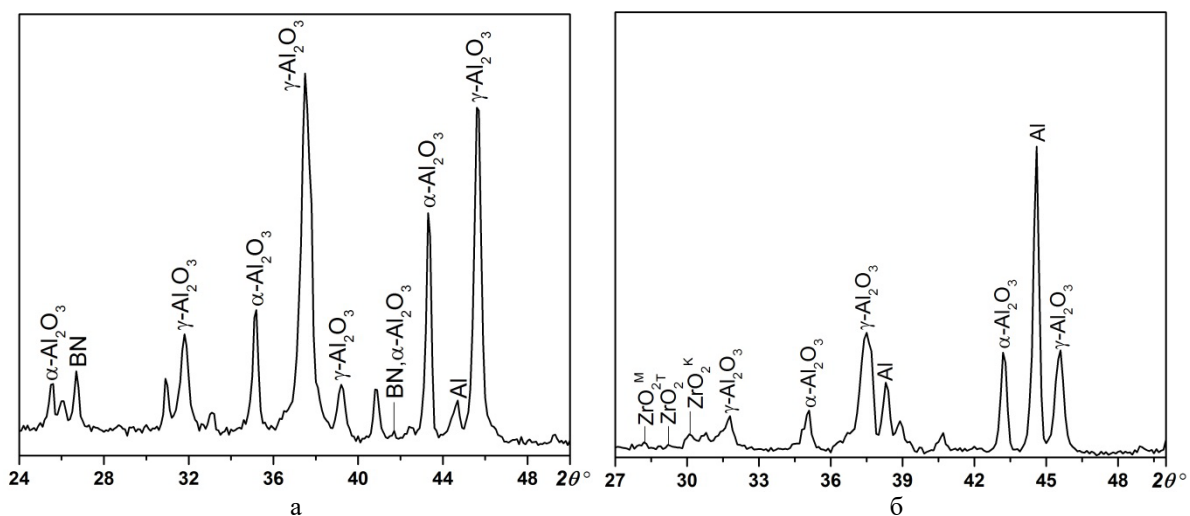


Рис. 4. Дифрактограммы образцов КП, легированных BN (а) и ZrO₂ (б)

Анализ показал, что интенсивность линий альфа и гамма фаз корунда, а также легирующей добавки выше у образцов с BN, что соответствует результатам, изображенным на рис. 3.

Заклучение

В результате проведенных исследований установлено, что лазерное легирование оксидом циркония и нитридом бора алюмооксидного покрытия, сформированного на алюминиевых сплавах методом микродугового оксидирования, позволяет получать в его поверхностном слое композиционную эвтектическую керамику. Установлено, что лазерное легирование без предварительной механической обработки покрытия (шлифования) обеспечивает получение модифицированного слоя при всех режимах лазерной обработки, не приводя к значительным оплавлениям и сколам покрытия. Лазерная обработка при легировании оксидом циркония и нитридом бора приводит также к росту доли корунда α -Al₂O₃, что в свою очередь положительно сказывается на микротвердости МДО-покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдин, М. С. Композиционные керамики на основе оксида алюминия, полученные методом электроимпульсного плазменного спекания, для трибологических применений / М. С. Болдин, Н. В. Сахаров, С. В. Шотин и др. // Физика твердого тела. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2012. – № 6 (1). – С. 32–37
2. Гаршин, А. П. Машиностроительная керамика / А. П. Гаршин, В. М. Гропянов, Г. П. Зайцев, С. С. Семенов – СПб: Изд-во СпбТУ, 1997. – 726 с
3. Промышленные алюминиевые сплавы: Справочник, 2-ое изд. / под ред. Ф. И. Квасов, И. Н. Фридляндер – М.: Металлургия. – 1984, 528 с.
4. Фридляндер, И. Н. Высокопрочные деформируемые алюминиевые сплавы. – М.: Обorongиз. – 1960, 290 с.
5. Фридляндер, И. Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: Металлургия. – 1979, 208 с.