

¹В. Г. Лебедев, д-р техн. наук
¹Т. В. Чумаченко, канд. техн. наук

¹Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна
 e-mail: Chumachenko-1981@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НАПЫЛЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО СЛОЯ НА ШЕЙКАХ ВАЛОВ РОТОРА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Ключові слова: мінералокерамічний шар, шліфування, знос, шорсткість, коло з кубічного нітриду бору.

Анотація. Розглянуті закономірності зміни шорсткості напиленого мінералокерамічного шару на шийках валів ротора газової турбіни залежно від режимів шліфування і зернистості круга з кубічного нітриду бору. Шорсткість поверхні при шліфуванні напиленого керамічного шару, що складається з чистого Al_2O_3 , знаходиться в межах $Ra = 0,63 \dots 0,32$, для модифікованого TiC і C шорсткість поверхні практично не змінюється, а модифікованого WC – підвищується на один розряд.

Введение

Современное машиностроение характеризуется повышением мощности машин и механизмов за счет внедрения новых материалов, высокоэффективных технологических процессов, поэтому для решения создавшихся проблем в технике альтернативой является получение новых материалов с наперед заданными свойствами.

Анализ исследований и публикаций

Износостойкие покрытия подвергают в большинстве случаев механической обработке, так как они наносятся на деталь слоями и изменяют точность её размеров и формы, а также шероховатость поверхности [1, 2, 3]. Покрытия из тугоплавких соединений имеют высокую твердость и прочность, что затрудняет их механическую обработку и ограничивает применение. Они не поддаются обрабатыванию лезвийным инструментом и плохо шлифуются кругами из обычных абразивов [4, 5], т. е. плазменные покрытия, которые работают в парах трения, требуют тщательную механическую обработку. При напылении покрытий плазменным методом невозможно точно нанести требуемую толщину покрытия. Режимные параметры процесса напыления оказывают существенное влияние на равномерность напыленного слоя, поэтому слой покрытия наносят с учетом последующей механической обработки. Поверхностный слой покрытия также имеет и незначительные неровности (волнистость, неодинаковая толщина), высокую шероховатость поверхности. Поэтому после напыления покрытия производят его финишную обработку, чаще всего применяется шлифование [6, 7, 8, 9, 5]. Припуск на обработку при шлифовании напыленного минералокерамического слоя, нанесенного на шейки валов ротора газовой турбины (плазменное покрытие), в нашем случае составляет 0,3 мм. К обработанной поверхности покрытия предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности, точности взаимного расположения поверхностей и т. п.

Применяемые напыляемые покрытия являются совершенно новыми материалами, отличающимися от исходных компонентов своей историей образования, характером связей и т. д. В общемашиностроительных нормативах режимов резания [11, 12] отсутствуют рекомендации по выбору режимов шлифования напыленных керамических покрытий.

Целью проектирования операций шлифования напыленного слоя является выбор шлифовального круга и режимов обработки исходя из условий максимальной производительности, экономичности и обеспечения требуемого качества поверхности.

Поэтому исследования, направленные на технологическое обеспечение качества и производительности обработки шлифованием шеек валов роторов газовых турбин, напыленных износостойчивым и жаропрочным минералокерамическим слоем, являются актуальными для машиностроения. В литературе, посвященной обработке керамики, нет никаких данных по обработке напыленного слоя из минералокерамики. Сама керамика обрабатывалась кругами только на металлической и органической связке.

Исследования и результаты

Качественные характеристики, такие, как надежность и долговечность детали, обуславливаются

© В. Г. Лебедев, Т. В. Чумаченко, 2013

рядом факторов, которые формируются в процессе ее обработки. С одной стороны, высокая надежность и долговечность обеспечиваются точностью обработки, а с другой – физико-механическим состоянием поверхностного слоя, определяемым шероховатостью поверхности, величиной и знаком остаточных напряжений.

В соответствии с техническими требованиями шейки вала газовой турбины должны иметь низкие значения шероховатости поверхности $Ra = 0,63 \dots 0,32$. Данный класс шероховатости при абразивном шлифовании достигается с большим трудом, в результате чего приходится вводить дополнительные доводочные операции.

Поэтому возможности шлифования кругами из кубического нитрида бора могут быть использованы в полном объеме.

Минералокерамические покрытия относятся к ряду твердых поверхностей, поэтому для обработки в основном необходимо использовать круги из кубического нитрида бора (КНБ). Производительность процесса шлифования этих покрытий будет ниже, чем при обработке собственно керамики.

Шлифовать минералокерамику без применения смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) нежелательно во всех случаях, так как снижаются качество обработанной поверхности и точность обработки из-за увеличения износа круга и высокой контактной температуры. Тонкодисперсная стружка при обработке керамики, расплываясь на большое расстояние, осажается на металлургические части станков и загрязняет воздух шлифовального участка, что нежелательно по санитарно-гигиеническим условиям, затрудняет контроль детали и приводит к износу оборудования.

При выборе между алмазным шлифованием керамики и кругами из КНБ учитывалось следующее:

1. Режущие способности кругов примерно одинаковы.
2. При шлифовании зерна вследствие низкой теплопроводности керамики подвергаются интенсивному нагреву.
3. Теплостойкость алмазных зерен составляет приблизительно $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Выше этой температуры начинается процесс графитизации алмаза. Теплостойкость зерен из КНБ доходит до $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому можно утверждать, что износ алмазных кругов будет значительно выше (что доказано практикой). Поэтому экономически обосновано керамику и соответственно напыленные керамические покрытия шлифовать кругами из КНБ. Изучение закономерностей шероховатости поверхности от факторов обработки может дать возможность так строить процесс, чтобы стабильно поддерживать требуемое значение шероховатости. Результаты исследований показали (рис. 1), что большое влияние на

шероховатость оказывает зернистость шлифовального круга.

Так, увеличение зернистости шлифовального круга снижает шероховатость на 2-3 разряда, т. е. практически снижает ее на класс. Это объясняется тем, что при увеличении зернистости круга растут радиусы закругления зерен, возрастают силы, действующие на зерно, и увеличивается величина углубления зерна в металл.

Режимы обработки также оказывают большое влияние на величину шероховатости (рис. 1).

Это объясняется тем, что при увеличении скорости вращения круга (рис. 1, а) в съеме металла принимает участие большее число режущих зерен, в результате чего уменьшается

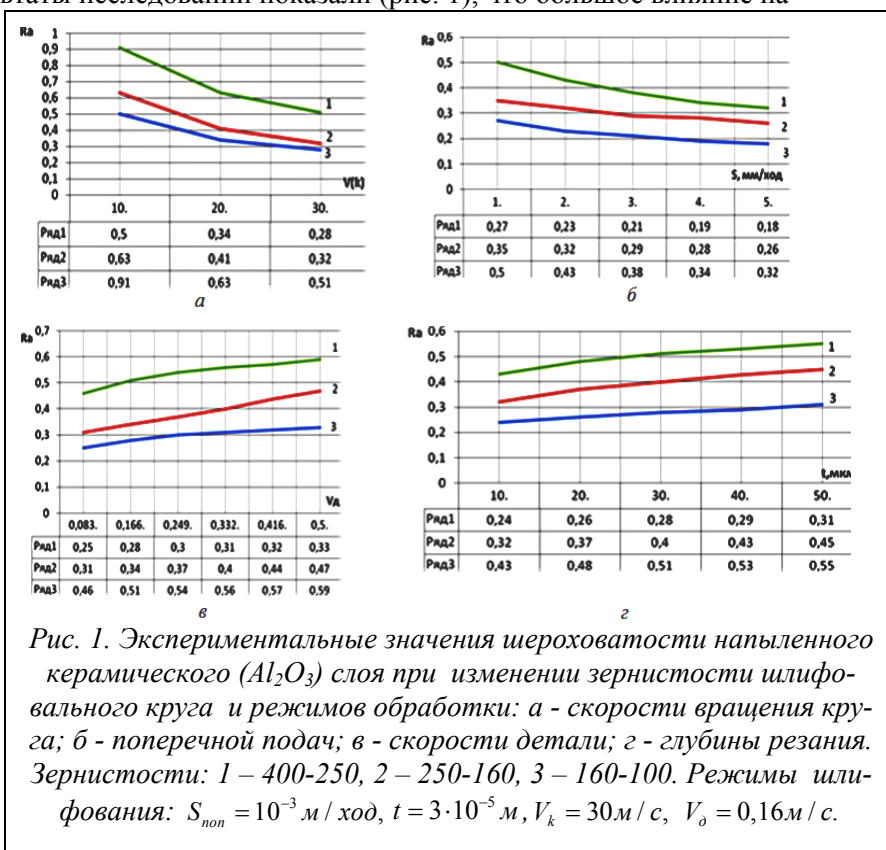


Рис. 1. Экспериментальные значения шероховатости напыленного керамического (Al_2O_3) слоя при изменении зернистости шлифовального круга и режимов обработки: а - скорости вращения круга; б - поперечной подачи; в - скорости детали; г - глубины резания. Зернистости: 1 – 400-250, 2 – 250-160, 3 – 160-100. Режимы шлифования: $S_{non} = 10^{-3}$ м / ход, $t = 3 \cdot 10^{-5}$ м, $V_k = 30$ м / с, $V_d = 0,16$ м / с.

сечение стружки, снимаемой зерном из КНБ, уменьшается величина углубления зерна в металл. Увеличение поперечной подачи (рис. 1, б) приводит к некоторому снижению величины шероховатости, так как возрастает площадь пятна контакта круга с металлом и растет число зерен, принимающих участие в съеме металла.

Чем больше скорость детали (рис. 1, в), тем выше величина шероховатости, что объясняется увеличением сечения стружки, снимаемой зерном. Это хорошо согласуется с результатами расчетных и экспериментальных данных величин углубления зерна в металл и единичных сил резания.

Увеличение глубины резания (рис. 1, г) приводит к росту шероховатости поверхности ввиду возрастания величины углубления зерна в металл.

Математическая обработка экспериментальных данных, полученных с помощью профилограф-профилометра TALYSURS 4 фирмы TAYLOR HOBSON (рис. 2), позволила получить зависимость шероховатости поверхности в следующем виде:

$$R_a = \frac{1,47 \cdot V_d^{0,14} \cdot t^{0,18} \cdot N_z^{0,43}}{S^{0,25} \cdot V_{кр}^{0,55}}$$

Как показали исследования, при скорости вращения круга 30 м/с и глубине резания 0,03 мм величина шероховатости соответствует 8 - 9 а классам. Доводочная операция при глубине резания 0,01 мм соответствует тому же классу и разряду шероховатости.

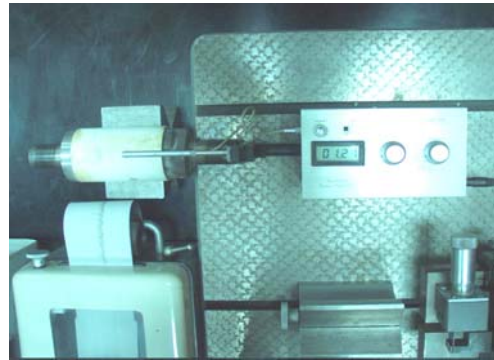


Рис. 2. Процесс измерения шероховатости профилограф-профилометром напыленного керамического слоя после шлифования кругом из КНБ марки ЛО20100%СМ1К7. Модель профилограф-профилометра TALYSURS 4 фирмы TAYLOR HOBSON

При шлифовании напыленных слоев, модифицированных TiC и C, шероховатость поверхности практически не меняется по сравнению с чистым Al₂O₃. Это можно увидеть из таблицы 1.

Таблица 1 – Оптимальные рекомендуемые режимы шлифования напыленных минерало-керамических слоев кругом из КНБ марки ЛО20100 % СМ1К7 с подачей СОТС закрученной струей, гарантирующие отсутствие трещин

Химический состав напыляемого слоя (%)								Кол. проходов, n
100 Al ₂ O ₃		70 Al ₂ O ₃ и 30WC		70 Al ₂ O ₃ и 30Ti C		70 Al ₂ O ₃ и 30C		
Режимы обработки: v _{кр} = 30 м/с; s = 1 мм/об. дет; v _d = 0,16 м/с; h = 1300 мкм; Ra = 0,32; z = 0,3 мм (прпуск на обработку)								
t	z	t	z	t	z	t	z	
мкм								
25	275	50*	50	30	270	30	270	1
24	251	25	25	25	245	25	245	2
22	229	25	–	24	221	24	221	3
20	209	–	–	22	199	24	197	4
18	191	–	–	20	179	22	175	5
15	176	–	–	18	161	22	153	6
12	164	–	–	16	145	17*	–	7
11	153	–	–	14	131	–	–	8
10	143	–	–	11	120	–	–	9
8	135	–	–	10*	–	–	–	10
5*	–	–	–	–	–	–	–	
Трещины отсутствуют								
* = 27 n = 10+27	–	* = 5 n = 5+2	–	* = 12 n = 10+12	–	* = 9 n = 7+9		
* — количество проходов для окончательного снятия припуска; n – общее количество проходов								

Выводы

1. Труднообрабатываемость керамических поверхностей несколько сдерживает ее конструктивное применение, поскольку небольшая толщина напыляемого слоя практически исключает лезвийную обработку и делает возможным обработку этого слоя шлифованием ССМ.

2. Несмотря на довольно многочисленные данные, имеющиеся в литературе по обработке керамических материалов, практически нет сведений по обработке напыленных керамических слоев шлифованием, у которых структура и физико-механические характеристики несколько отличаются от классических керамических материалов.

3. Высокая подверженность керамики к шлифовочным трещинам привела к появлению многочисленных рекомендаций по применению СОТС. Однако все рекомендуемые СОТС экологически вредные. Их применение связано с высокими дополнительными затратами по очистке рабочей зоны от мелкой взвеси и является весьма вредным для здоровья людей. В литературе недостаточно полно рассмотрен вопрос использования СОТС сравнительно безопасного и простого химического состава.

4. Методика экспериментального исследования учитывает современный уровень вычислительной техники, что дает возможность получать достоверные данные разных стадий процесса шлифования кругами из КНБ.

5. Шероховатость поверхности при шлифовании напыленного керамического слоя, состоящего из чистого Al_2O_3 , находится в пределах $Ra = 0,63 \dots 0,32$.

6. При шлифовании напыленных слоев, модифицированных TiC и C, шероховатость поверхности практически не меняется по сравнению с чистым Al_2O_3 (таблица). При шлифовании напыленных слоев, модифицированных WC, шероховатость поверхности повышается на один разряд.

Литература

1. Михайлов, А. А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями / А. А. Михайлов. – М.: Машиностроение, 1987. – 144 с.

2. Переверзев, П. П. Взаимосвязь производительности и точности операций шлифования с интенсивностью затупления кругов из различных абразивных материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. / П. П. Переверзев. – Челябинск, 1981. – 17 с.

3. Пилипенко, А. М. Абразивное шлифование деталей цилиндрической формы после плазменного покрытия / А. М. Пилипенко, В. Ф. Коробка, В. М. Немец // Сверхтвердые материалы. – 1981. – № 5. – С. 62 - 65.

4. Ахмедов, Р. Б. Аэродинамика закрученной струи / Р. Б. Ахмедов, Т. Б. Балагула, Ф. К. Рашидов. – М.: Энергия, 1977. – 240 с.

5. Рыжов, М. А. Режимы и методы шлифования цементованных и закаленных зубчатых колес / М. А. Рыжов, Н. М. Рыжов. – М.: Станки и инструмент, 1966. – 488 с.

6. Казимирчук, А. Ф. Обработываемость износостойких покрытий / А. Ф. Казимирчук // Сверхтвердые материалы. – 1979. – № 2. – С. 51 – 54.

7. Костиков, В. И. Плазменные покрытия / В. И. Костиков, Ю. Ф. Шестерин. – М.: Металлургия, 1988. – 158 с.

8. Опарин, В. М. Исследование процесса шлифования износостойких покрытий на основе карбида титана / В. М. Опарин // Повышение эффективности использования режущих инструментов при обработке авиационных материалов. – Куйбышев.: Куйбышев. авиац. ин-та, 1983. – С. 121 – 123.

9. Рыкалин, Н. Н. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов / Н. Н. Рыкалин, М. Х. Шоршоров, В. В. Кудинов. – М.: Наука, 1973. – С. 187 - 196.

10. Кашук, В. А. Шлифование износостойких покрытий кругами из алмаза и кубического нитрида бора / В. А. Кашук, Е. М. Чистяков // Синтетические алмазы. – 1974. – Вып. 4 (40). – С. 54 – 56.

11. Лебедев, В. Г. Компонентный состав напыленных керамических слоев и его влияние на трещиностойкость при шлифовании / В. Г. Лебедев, Т. В. Чумаченко // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2005. – Вып. 2 (42). – С. 82 – 84.

12. Мамин, П. Д. Остаточные напряжения после отделочно-упрочняющей обработке деталей машин / П. Д. Мамин, Р. Р. Мавлютов, В. С. Куликов // Институт механики (УИЦ РАН). Вестн. УГАТУ, – 2001. – С. 111 – 117.

Поступила в редакцию 01.10.2013