

УДК 621.923

Д.Е. Сидоров, канд. техн. наук,

В.А. Титков, ассистент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

vlad-titkov@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

Анализируется влияние технологических факторов на процесс плоского шлифования при обработке плазменных и детонационных покрытий.

Ключевые слова: плоское шлифование, технологический фактор, шлифовальный круг, качество поверхности.

Одной из важных задач при производстве деталей является обеспечение соответствий геометрических параметров детали заданным. Особенно это актуально для процессов шлифования, на которых в большинстве случаев окончательно формируется качество изделий.

На базе кафедры «Технология машиностроения» Севастопольского национального технического университета был проведен ряд экспериментальных исследований [1] по шлифованию износостойких покрытий. Получены данные о влиянии характеристики инструмента, режимных параметров и процесса выхаживания на составляющие силы резания, съём, шероховатость и волнистость обработанной поверхности, а также определен удельный расход алмазов для кругов различной зернистости.

Опыты показали, что из основных характеристик шлифовального круга зернистость оказывает наибольшее влияние на волнистость обработанной поверхности.

При прочих равных условиях с уменьшением зернистости высота волнистости снижается и достигает значений $W_z = 3,5$ мкм при шлифовании кругом с зерном 50/40. Следует отметить, что только при использовании этих кругов удастся получить показатели волнистости и шероховатости обрабатываемой поверхности, удовлетворяющие требованиям шестого качества (рисунок 1, 2).

При этом, в отличие от существующего мнения, мелкозернистые круги на металлической связке работают в режиме преимущественного самозатачивания инструмента при обработке износостойких покрытий ПГ-СРЗ, ПГ-СР4, ПП-АН6, ПП-АН9, ПП-АН170 и ряда инструментальных сталей.

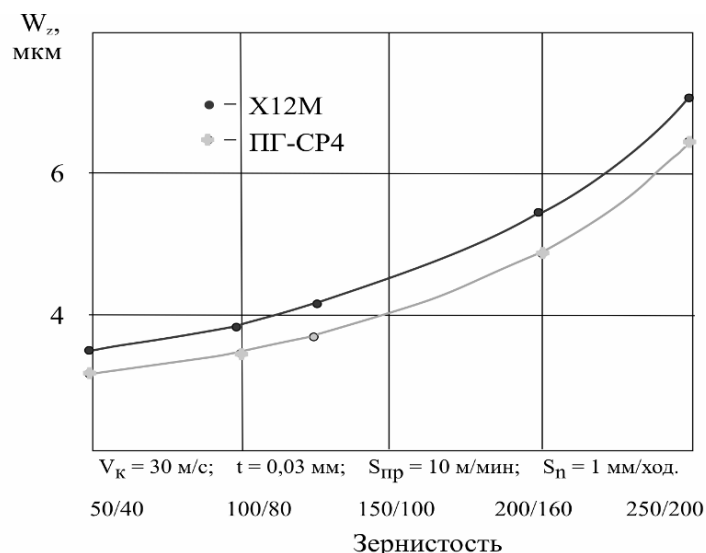


Рисунок 1 – Влияние зернистости инструмента на высоту волнистости

Мелкозернистые круги на металлической связке изнашиваются более интенсивно, по сравнению с другими инструментами, обеспечивающими заданную шероховатость (рисунок 2). Так, при режиме $t = 0,03$ мм, $S_{пр} = 10$ м/мин, $V = 35$ м/с, $S_n = 1$ мм/ход удельный расход алмазов мелкозернистых кругов на металлической связке в 2 раза выше, чем при использовании кругов на связке Б2-08 зернистостью 100/80. С ростом производительности шлифования в 3 раза различия возрастают в 10–15 раз.

Мелкозернистые круги на металлической связке обеспечивают также возможность осуществления высокопроизводительного шлифования. Например, при мощности привода главного движения станка 2,2 кВт можно достигнуть скорости съема припуска порядка 1600 мм³/мин.

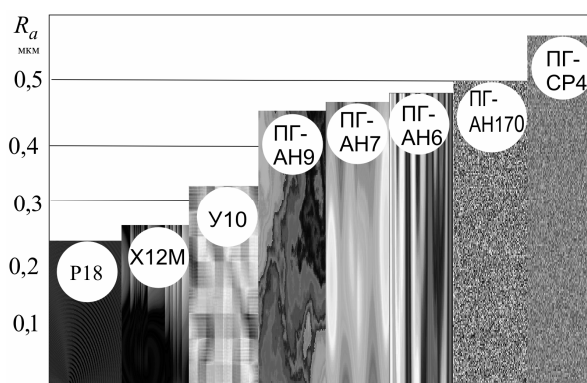


Рисунок 2 – Достигаемые значения параметра R_a шероховатости поверхности при обработке различных материалов

С целью определения степени влияния технологических факторов: зернистости инструмента Z_0 , глубины шлифования t , скорости подачи изделия V_s , поперечной подачи S_n на силы резания и шероховатость обработанных поверхностей износостойких покрытий была проведена обработка результатов измерений среднего арифметического отклонения профиля R_a и нормальной составляющей силы резания P_Y в соответствии с РДМУ 109-77 [2]. Для этого из данных технологического эксперимента выделили значения R_a и P_Y , соответствующие матрице полного факторного эксперимента с числом опытов $N = 2^4$. В качестве варьируемых параметров приняли Z_0 , t , V_s и S_n . За максимальный и минимальный уровни данных технологических факторов были приняты, соответственно, их максимальные и минимальные значения, устанавливаемые в эксперименте для каждого из типов покрытий. Для математического описания влияния режимов шлифования и характеристики инструмента на шероховатость обработанных поверхностей керамических покрытий на основе окиси алюминия использовали традиционную в технологии машиностроения степенную зависимость вида:

$$\bar{y} = C_y x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} x_3^{\beta_3} x_4^{\beta_4}, \quad (1)$$

где $\bar{y}$ – среднее значение контролируемого параметра; x_1, x_2, x_3, x_4 – значения варьируемых параметров; $C_y, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – эмпирические коэффициенты.

Для получения уравнения регрессии зависимость (1) логарифмировали. При этом она приобрела вид:

$$\ln \bar{y} = \ln C_y + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_2 + \beta_3 \ln x_3 + \beta_4 \ln x_4.$$

Среднее значение контролируемых параметров R_a и P_Y в каждой из N точек плана определяли в логарифмическом масштабе по данным шести измерений (повторяемость $m = 6$).

Для оценки отклонений контролируемого параметра от среднего значения по данным m наблюдений вычисляли дисперсию воспроизводимости S_V^2 . При проверке гипотезы однородности дисперсий использовали G – критерий Кохрена, равный отношению максимальной дисперсии $S_{V_{\max}}^2$ к сумме дисперсий $\sum_{v=1}^{16} S_v^2$. Задаваемый уровень значимости $q = 5\%$, число степеней свободы $V_{1B} = 5$ и $V_{2B} = N = 16$. Вследствие однородности дисперсии усредняли. Коэффициенты регрессии b_i определяли перемножением данных $\bar{y}$ и x_{iv} в кодовых обозначениях с последующим делением полученного произведения на общее число точек в плане матрицы N . Затем по усредненной дисперсии, общему числу точек в плане и числу наблюдений m вычисляли среднеквадратические отклонения дисперсии ошибки $S^2\{b_i\}$ и $S\{b_i\}$, полученных коэффициентов регрессии b_i . Задаваемый уровень значимости принимали равным $q = 5\%$, число степеней свободы – $V_{3B} = N(m-1) = 80$. Адекватность полученной

моделі оцінювали по F – критерію Фишера на основі вичисленої дисперсії адекватності S_{ad}^2 при прийнятій рівні значимості $q = 5\%$ і числі степеней свободи $N_{lad} = N - l = 16 - 2 = 14$ (l – число значимих коефіцієнтів) і $N_{2ad} = N(m - 1) = 80$. Для отримання кінцевих залежностей проводили заміну змінних в рівнянні регресії і приводили його до степенного виду.

Обработку результатов полного факторного эксперимента по вышеприведенной методике проводили на ЭВМ. Для плазменных покрытий получена следующая эмпирическая зависимость:

$$R_a = 0,599 \cdot z_0^{0,26} t^{0,05}. \quad (2)$$

Для детонационно-напыленной керамики:

$$R_a = 0,029 \cdot z_0^{0,89} t^{0,36}. \quad (3)$$

Анализ полученных расчетных формул однозначно показывает, что на шероховатость обработанных поверхностей керамических покрытий оказывает влияние зернистость круга z_0 и глубина шлифования t , влияние же скорости подачи V_s и поперечной подачи S_n незначительно. Существенным недостатком зависимостей (2) и (3) является невозможность их использования для покрытий со структурными параметрами, отличающимися от соответствующих напылённым слоем на экспериментальных образцах. Отсюда вытекает необходимость разработки алгоритма и программы расчета параметров шероховатости, который бы учитывал структуру обрабатываемого покрытия.

При обработке результатов измерения нормальной составляющей силы резания получены следующие расчетные зависимости:

– для плазменных покрытий:

$$P_y = 241,9 \cdot z_0^{-0,59} t^{0,45} S_n, \quad (4)$$

– для детонационных покрытий:

$$P_y = 906,5 \cdot z_0^{-0,52} t^{0,67} S_n. \quad (5)$$

Изучение влияния режимов резания на волнистость проводили кругами с характеристикой АС6 50/40М М1-04 100.

При постоянстве двух и варьировании третьим элементом режима высота волнистости изменяется по степенной зависимости (рисунок 3).

Причем наибольший вклад в её снижение вносит глубина шлифования. С понижением последней (до 0,002 мм), а также продольной (до 3 м/мин) и поперечной (до 0,3 мм/ход) подач высота волнистости уменьшается до $2,5 \pm 3,0$ мкм.

Обработка на режиме, отвечающем сочетанию предельно малых значений элементов, не приводит к существенному снижению высоты волнистости ($W_z = 2,5$ мкм).

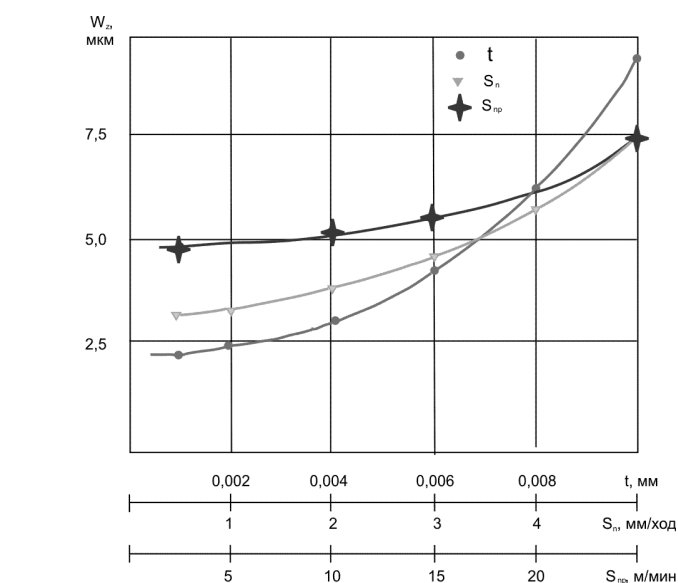


Рисунок 3 – Залежність висоти волнистости от глубины шлифования, продольной и поперечной подач

Дополнительными опытами установлено, что с точки зрения максимальной производительности обработки высота волнистости порядка 3 мкм обеспечивается на следующих режимах: $S_{np} = 20$ м/мин, $S_n = 5$ мм/ход, $t = 0,002$ мм. При использовании данных режимов изучалось влияние окружной скорости шлифовального круга. При изменении скорости вращения круга высота волнистости снижается примерно на 30% ($W_z = 2,0$ мкм). Однако, при этом ухудшаются показатели шероховатости обработанной поверхности и износостойкости инструмента (рисунок 4), что ограничивает нижний предел снижения скорости.

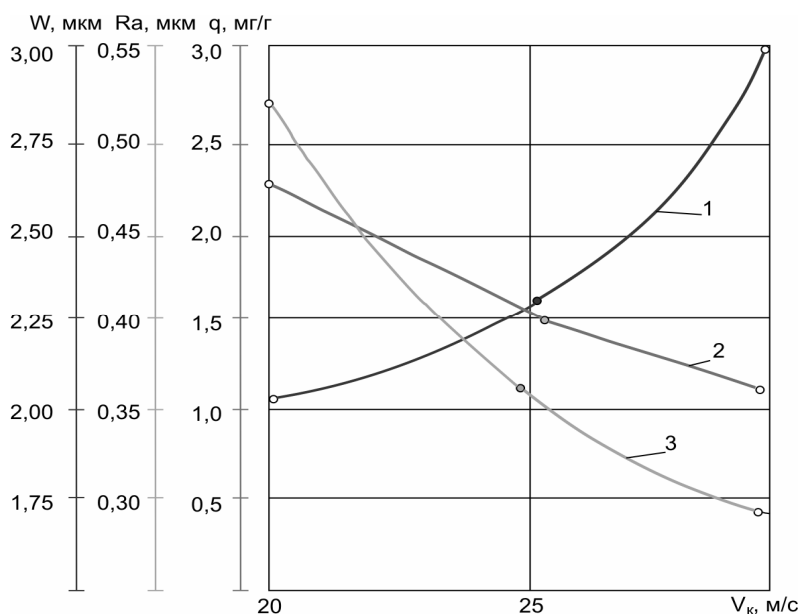
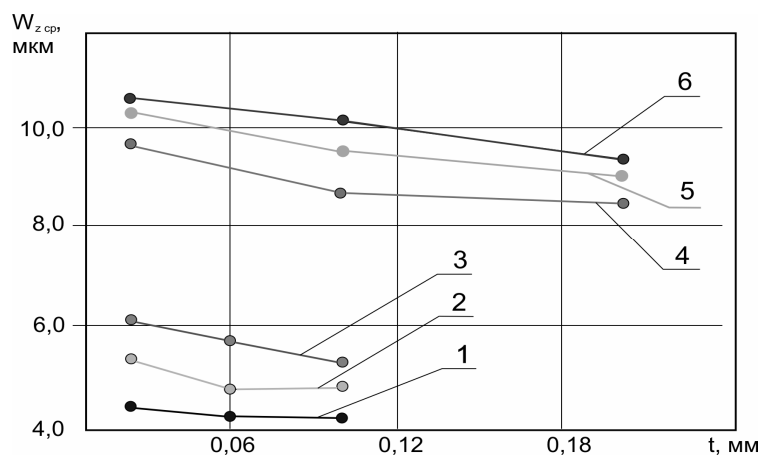


Рисунок 4 – Зависимость высоты волнистости (1), относительного расхода алмазов (2) и параметра шероховатости (3) от скорости вращения шлифовального круга

Поэтому при выполнении дальнейших исследований было уделено внимание разработке мероприятий по снижению высоты волнистости за счет уменьшения скорости вращения шлифовального круга при одновременном обеспечении требуемых показателей шероховатости обработанной поверхности и износостойкости режущего инструмента.

Анализ волнистости шлифованных поверхностей напыленных покрытий выявил следующие закономерности процесса. С увеличением глубины резания t и уменьшением зернистости алмазного круга средняя высота волн W_z уменьшается (рисунок 5). На основании ранее полученных экспериментальных данных было установлено, что это связано с возрастанием нормальной составляющей силы резания P_Y .



Детонационные покрытия:
1 – 40/28,
2 – 80/63,
3 – 125/100

Плазменные покрытия:
4 – 40/28,
5 – 80/63,
6 – 125/100

Рисунок 5 – Изменение средней высоты волнистости обработанных поверхностей покрытий в зависимости от глубины шлифования и зернистости круга (АС4, Б1 100, $S_{np} = 5$ м/мин, $S_x = 5$ мм/ход)

Величина среднего шага волнистости S_W зависит от скорости подачи изделия V_S . Причем, с увеличением V_S параметр S_W возрастает. Так, при $V_S = 5$ м/мин средний шаг волнистости составил $S_W = 1,3...1,5$ мм, а при $V_S = 10$ м/мин – соответствовал $S_W = 2,7...3,1$ мм.

Основными причинами образования отклонений параметров качества шлифованных поверхностей являются отклонения формы инструмента, дисбаланс и вибрация в технологической системе. На этапе врезания в пределах участка заготовки, образованного за один оборот круга при однократном их касании, имеет место частичное отсутствие контакта; шаг волнистости соответствует числу волн на инструменте. После совершения последующих контактов периодичность отсутствует вследствие суперпозиции колебаний и самоперерезания волн.

Аналогичные закономерности наблюдаются и для показателя R_a шероховатости обработанной поверхности.

Следует отметить, что снижение зернистости инструмента приводит одновременно к уменьшению шероховатости обработанной поверхности и увеличению нормальной составляющей силы резания P_Y . Поэтому использование кругов меньшей зернистости в условиях черного шлифования нежелательно ввиду возможности возникновения в покрытии макротрещин и отслоений. Обработку целесообразно проводить в два этапа. При этом на первом этапе инструментом большей зернистости и назначением глубины резания, необходимой для исправления исходных отклонений формы заготовки и достижения заданного размера. На втором этапе соответственно с использованием алмазного круга меньшей зернистости и глубиной t не более 0,01...0,02 мм для достижения возможно наименьшей высоты микронеровностей поверхности керамического покрытия.

Выполнение дополнительных выхаживающих проходов приводит к снижению шероховатости обработанной поверхности до определенного момента, затем к резкому ее возрастанию.

При проектировании технологических процессов плоского шлифования инструментом из СТМ на металлической связке точность балансировки круга необходимо назначать в пределах $1,5...2,0 \cdot 10^{-4}$ кг·м.

Балансировку круга выполнять непосредственно на шлифовальном станке в связи с тем, что дисбаланс шпинделя станка обычно выше рекомендуемого.

Снизить величину радиального биения рабочей поверхности круга, а следовательно, и высоту волнистости можно двумя путями: приработкой и правкой инструмента.

Приработкой даже на щадящих режимах резания не удастся снизить величину радиального биения ниже 15–20 мкм, а высоту волнистости – ниже 2 мкм.

Более высокую точность можно получить, используя операцию правки инструмента.

После выполнения правки практически всеми известными методами удалось получить минимальное значение радиального биения рабочей поверхности круга (5 мкм), когда правка осуществлялась кругом из карбида кремния зеленого, зернистостью 20, на керамической связке средней мягкости. При этом скорость вращения правящего инструмента составляла 20 м/с, скорость вращения алмазного круга 1–2 м/с, поперечная подача 3 м/мин, подача на врезание 2 мкм.

После такой правки удастся получить минимальную высоту волнистости ($W_z = 0,7$ мкм), которая визуально не наблюдается, а высота находится в пределах R_z .

В то же время, введение операции правки инструмента обуславливает значительное повышение трудоемкости шлифования. Время, требуемое на правку, составляет, приблизительно, 30 мин. Кроме того, затруднено осуществление высокопроизводительного съема припуска за счет резкого снижения периода стойкости инструмента при интенсификации режимов резания.

За период стойкости инструмента увеличиваются не только средние значения, но и дисперсии отклонений от плоскостности на его рабочей поверхности. У круга значимы амплитуды первой и преобладающей высокочастотных гармоник. Они являются причинами образования на детали соответственно огранки и волнистости, которые возрастают с течением времени работы инструмента.

Библиографический список

1. Сидоров Д.Е. Автоматическая система управления: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07: защищена 14.09.07: утв. 17.01.08 / Сидоров Денис Евгеньевич. — Севастополь, 2007. — 242 с.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. — Изд-во Саратовск. ун-та, 1979. — 232 с.

Поступила в редакцию 03.03.2010 г.